

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Optimalizace návrhu ocelových dopravníkových mostů

Design optimization of transportation steel bridges

Student:

Bc. Lukáš Fabián

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Vít Křivý, Ph.D.

Ostrava  
2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra konstrukcí

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Fabián**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb

Téma: **Optimalizace návrhu ocelových dopravníkových mostů**  
**Design optimalization of transportation steel bridges**

Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce:

1. Vypracujte různá modulová řešení ocelových příhradových dopravníkových mostů, která bude možno efektivně uplatnit při reálném navrhování těchto konstrukcí. Navržená řešení musí být v souladu s platnými evropskými normami pro navrhování ocelových konstrukcí.
2. K navrženým modulovým řešením vypracujte potřebnou projektovou dokumentaci – přehledné výkresy ocelové konstrukce, technická zpráva a výkaz materiálu.
3. Při řešení diplomové práce vycházejte s požadavků specifikovaných firmou SE-MI Technology.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí. Praha : ČNI, 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-X: Zatížení konstrukcí (příslušné části). Praha : ČNI.
- [3] ČSN EN 1993-1-1: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby. Praha : ČNI, 2006.
- [4] ČSN EN 1993-1-8: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků. Praha : ČNI, 2006.
- [5] Marek, P. a kol.. Kovové konstrukce pozemních staveb, Praha : SNTL, 1985.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vít Křivý, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2013

Datum odevzdání: 02.12.2013

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Darja Kubečková, Ph.D.  
děkanka fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Ve Frýdku-Místku dne 30. listopadu 2013

.....

Bc. Lukáš Fabián

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. -autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k presenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Ve Frýdku-Místku dne 30. listopadu 2013

.....

Bc. Lukáš Fabián

## **Anotace diplomové práce**

Předmětem diplomové práce je návrh, posudek a porovnání variant dopravníkových mostů. Navržené varianty dopravníkových mostů využije firma SE-MI Technology, a.s. při realizaci svých zakázek, například při výstavbě dopravníkových tras v nově budované elektrárně Yunus Emra v Turecku. Varianty se liší v délkách rozpětí, výškách a použitých materiálech. Vždy je však zachována možnost napojení jednotlivých dílů za sebe. Diplomová práce se zabývá statickým posouzením hlavních nosných prvků, spojů a kotvení. Součástí diplomové práce je porovnání jednotlivých variant, technická zpráva a vyhotovení výkresové dokumentace. Diplomová práce je zpracována v rozsahu 107 stran a 18 příloh.

Klíčová slova:

Dopravníkový most, statický posudek, seismicita, technická zpráva, realizace

## **Annotation of Thesis**

The subject of the thesis is the design, the static assessment and the comparison of variants transportation bridges. These variants transportation bridges will be used by the company SE-MI Technology a.s., which will use them for the realization of their contracts, for instance during the construction of transportation paths in the new building power station in Turkey. These variants are different in length ranges, heights and used materials. There is always preserved the possibility of the connection individual components behind themselves. The thesis deals with the static assessment of main supporting members, joints and anchorage. The part of the thesis is the comparison of particular variants, the technical report and the drawing documentation. The thesis is processed in range of 107 pages and 18 attachments.

Key words:

Transporting bridge, static assessment, seismicity, technical report, cooperation

## Obsah

Seznam použitého značení .....	9
1 Úvod .....	10
2 Varianty řešení.....	12
3 Statický posudek vodorovného pole mostu o délce 15 metrů .....	13
3.1 Zatížení .....	13
3.1.1 Zatížení stálé.....	14
3.1.2 Transportovaný materiál.....	17
3.1.3 Zatížení větrem .....	17
3.1.4 Zatížení teplotou .....	22
3.1.5 Zatížení užité na plošině .....	24
3.1.6 Zatížení sněhem.....	25
3.1.7 Seismické zatížení .....	27
3.2 Posudek horního pásu mostu o délce 15 metrů .....	31
3.3 Posudek dolního pásu mostu o délce 15 metrů .....	34
3.4 Posudek diagonál pole mostu o délce 15 metrů .....	38
3.4.1 Krajní dvě tlačené diagonály .....	38
3.4.2 Vnitřní tlačené diagonály.....	40
3.4.3 Diagonály na koncích montážních dílců mostu.....	41
3.5 Posudek svislice montážního spoje pole mostu o délce 15 metrů.....	42
3.6 Posudek svislic pole mostu o délce 15 metrů .....	46
3.7 Posudek příčlí pole mostu o délce 15 metrů.....	47
3.8 Posudek diagonál zavětrování pole mostu o délce 15 metrů.....	47
3.9 Posudek vzpěrek umístěných mezi svislicemi příhrady .....	48
3.10 Posudek podpěrných konzol lávky pole mostu o délce 15 metrů.....	49
3.11 Montážní spoj polí mostu o délce 15 metrů .....	57
3.12 Svarové přípoje diagonálních prutů příhrad polí mostu o délce 15 metrů .....	61

3.13 Ložiska pole mostu .....	62
3.14 Podélné nosníky pod rošty .....	65
3.15 Celkový průhyb pole mostu o délce 15 metrů .....	70
4 Příhradové kyvné stojky o výšce 10 metrů .....	72
4.1 Pásky příhradových kyvných stojek o výšce 10 metrů .....	73
4.2 Diagonály příhradových kyvných stojek o výšce 10 metrů .....	76
4.3 Svislice příhradových kyvných stojek o výšce 10 metrů .....	81
4.4 Patky příhradových kyvných stojek o výšce 10 metrů .....	84
5 Technická zpráva .....	92
5.1 Popis konstrukce .....	92
5.2 Statické řešení .....	93
5.2.1 Globální analýza konstrukce .....	93
5.2.2 Statické řešení .....	93
5.2.3 Stabilitní řešení .....	94
5.3 Ocelové konstrukce .....	94
5.3.1 Materiál .....	94
5.3.2 Posouzení nosných profilů .....	95
5.3.3 Skladba profilů .....	95
5.4 Kotvení .....	97
5.5 Ochrana proti korozi .....	97
5.6 Výroba .....	98
5.7 Montáž ocelové konstrukce .....	98
5.8 Bezpečnost práce .....	98
6 Porovnání navržených variant .....	99
7 Závěr .....	102
8 Poděkování .....	103
9 Seznam použitých pramenů .....	104

9.1 Použité normy .....	104
9.2 Odborná literatura.....	105
9.3 Internetové zdroje .....	106
10 Seznam příloh.....	107
10.1 Statické posudky navržených variant .....	107
10.2 Výkresová dokumentace.....	107



## Seznam použitého značení

2D	dvoudimenzionální (dvourozměrný)
3D	trojdimenzionální (trojrozměrný)
CO (číslo)	kombinace (číslo)
H	výška [m]
L	délka [m]
M	ohybové momenty [kNm]
MSP	mezní stav použitelnosti
MSÚ	mezní stav únosnosti
N	normálové síly [kN]
ST	SE-MI Technology, a.s.
V	posouvající síly [kN]
ZS (číslo)	zatěžovací stav (číslo)
max	maximum
min	minimum

Další značení je ve shodě s platnými normami, na které je v textu odkazováno.

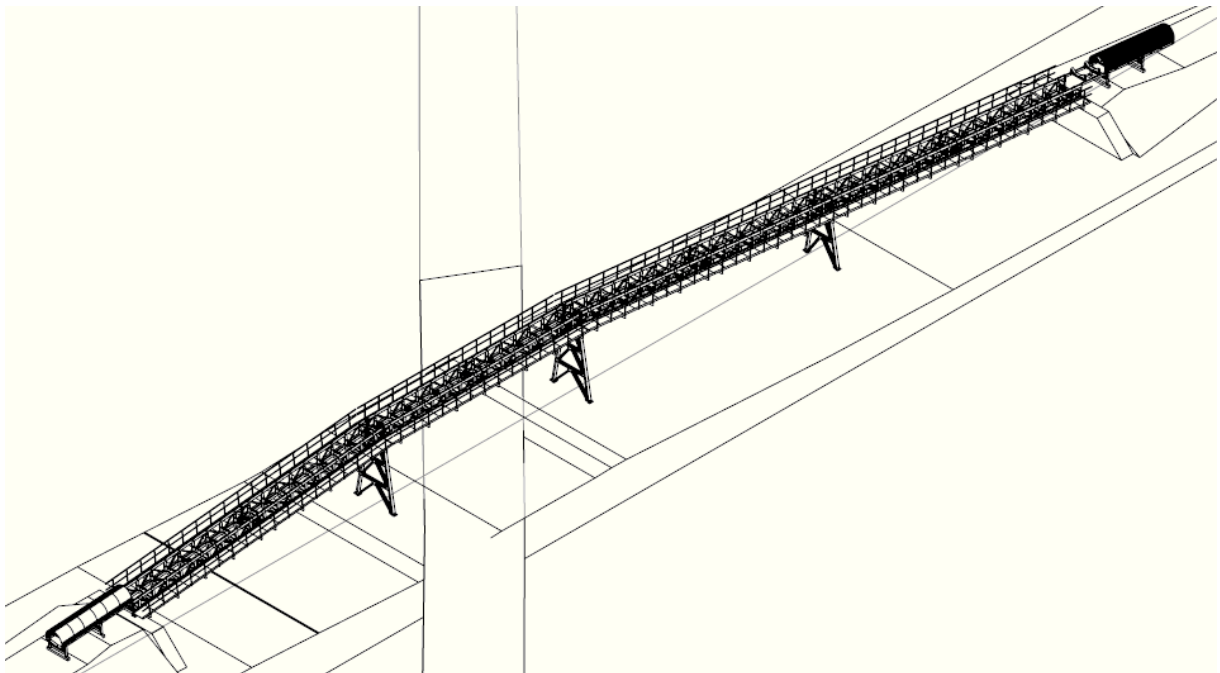
## 1 Úvod

Cílem diplomové práce je vytvořit tři varianty pole dopravníkového mostu a tři varianty kyvných stojek sloužících k podepření polí dopravníkového mostu. Veškeré parametry dopravníkového mostu jsou zadány firmou SE-MI Technology, a.s. S touto firmou, zabývající se mimo jiné návrhem a výrobou dopravníkových mostů do celého světa, autor diplomové práce spolupracuje poslední 2 roky. V rámci spolupráce jsou vytvářeny statické posudky pro ocelové konstrukce. Z těchto konstrukcí již byly některé realizovány, a to konkrétně dopravníkový most v Elektrárně Poříčí (Obr. 1.) a dva dopravníkové mosty v oblasti Turecka. Statický posudek bude sloužit k realizaci série dopravníkových mostů v oblastech Turecka. Zadání diplomové práce vychází z požadavků firmy v důsledku velké zakázky, ve které se bude realizovat velké množství dopravníkových mostů. Projektanti firmy potřebují rychle a efektivně vytvářet série dopravníkových tras. Právě pro tyto účely jsou v diplomové práci vytvářeny typizované dopravníkové pole a podpěry. Projektanti pak při návrhu dopravníků sáhnou právě po těch rozměrech polí a podpor, které budou potřebovat. Při návrhu je samozřejmostí spolupráce s projektanty z firmy ST z důvodů umístění technologií, velikosti zatížení a dalších.



*Obr. 1.: Realizovaný dopravníkový most v Elektrárně Poříčí*

Dopravníkové mosty budou realizovány ve více oblastech Turecka. Určit přesnou lokalitu a následně i velikost zatížení není možné. Proto je ve statickém výpočtu počítáno s nejnepříznivějšími klimatickými vlivy včetně seismického zatížení. Dopravníkové mosty budou sloužit k přepravě sypkých horninových materiálů jako je uhlí, granit, žula, vápenec, pískovec a další. Při návrhu je uvažováno s materiálem o největší objemové hmotnosti. Konstrukce dopravníkových mostů jsou tedy navrženy tak, aby odolaly rychlosti větru 25 m/s, zrychlení základové půdy o velikosti 0,4 g, tíže sněhu o velikosti 1,85 kN/m<sup>2</sup> a hmotnosti dopravovaného materiálu o velikosti 100 kg/m délky pásu.



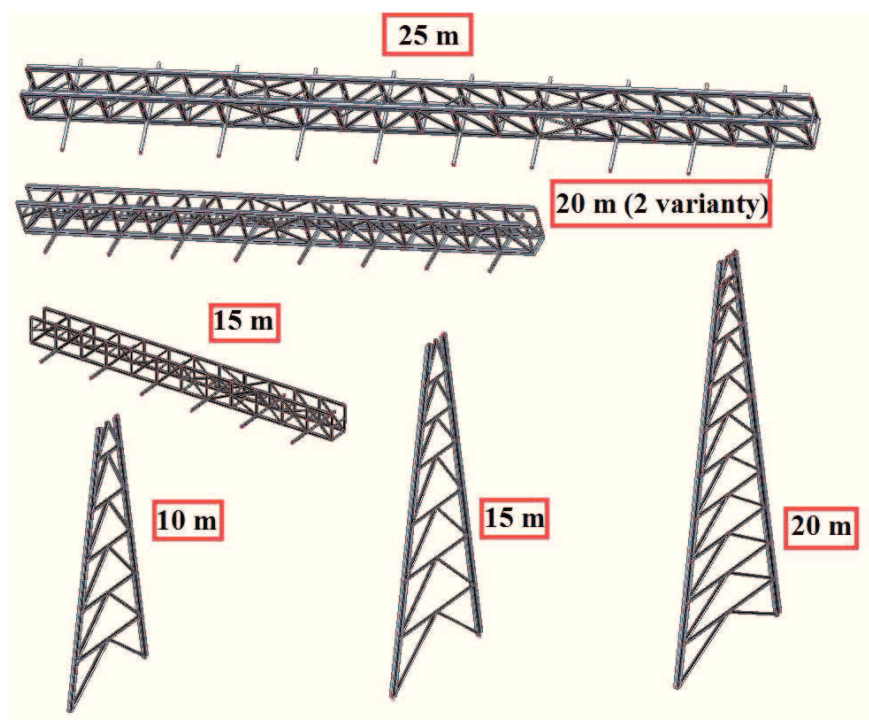
*Obr. 2.: 3D model části v minulosti řešeného dopravníkového mostu*

## 2 Varianty řešení

V diplomové práci jsou řešeny 4 varianty polí dopravníkových mostů o délkách 15, 20 a 25 metrů navržených z oceli S355J0 a 20 metrová varianta i z oceli S235J0. Dále jsou pak navrženy 3 varianty podpěr (kyvných stojek) o výškách 10, 15 a 20 metrů. Varianty byly voleny s ohledem na požadavky vycházející od firmy ST, která bude jednotlivé varianty dále využívat k realizaci série dopravníkových tras v oblastech Turecka.

Zatížení na jednotlivé varianty bylo voleno tak, aby vyvodilo největší možné, reálné účinky. Klimatická zatížení byla určena pro nejhorší možnou oblast Turecka. Seismická zatížení rovněž. Projektanti spolupracující firmy dále pak specifikovali velikosti zatížení vycházející z umístění technologií, možného dopravovaného materiálu i možnosti obsluhy navrhovaných konstrukcí (zatížení obslužné lávky). Veškeré zatížení splňuje podmínky uvedené v [1-5, 10, 17, 18 a 21].

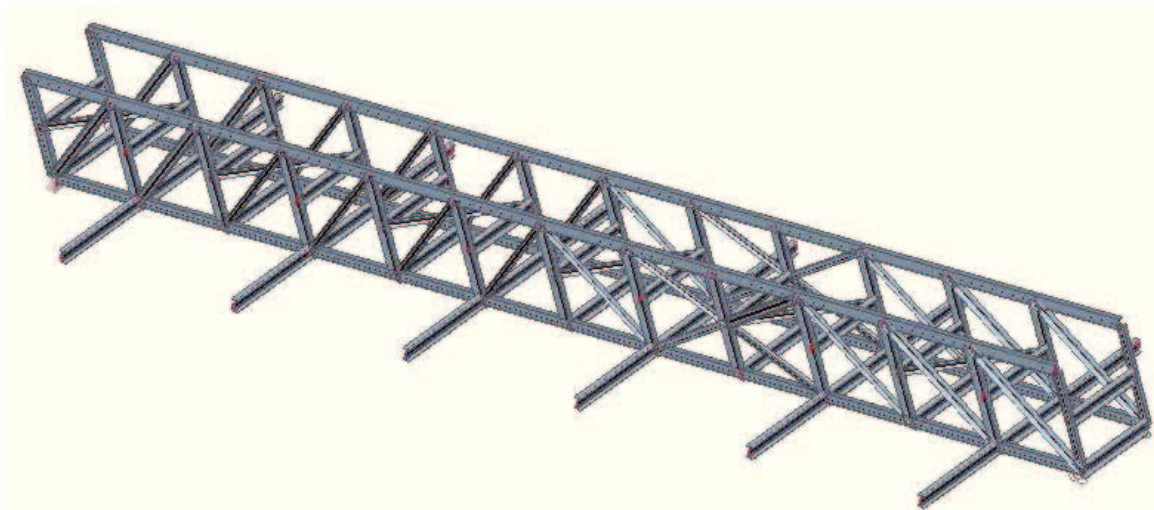
Varianty velikostí polí i podpěr dopravníkového mostu jsou navrženy tak, aby bylo možné je navzájem kombinovat a vytvářet tak dlouhé trasy dopravníkových mostů. V hlavní části diplomové práce je uveden statický posudek pouze jedné varianty pole a jedné varianty podpory dopravníkového mostu. Zbylé posudky jednotlivých variant jsou uvedeny v přílohách 1-5. V kapitole 6 jsou varianty navzájem porovnány a zhodnoceny. Všechny prvky polí a podpěr jsou navrženy s ohledem na ekonomiku a proveditelnost (konstrukční hledisko) dle [6-11, 13 a 17 - 23].



Obr. 2.1.: Řešené varianty polí a podpěr dopravníkového mostu

### 3 Statický posudek vodorovného pole mostu o délce 15 metrů

Jedna z řešených variant je právě varianta pole dopravníkového mostu o délce 15 metrů. Možná velikost přemostění je tedy maximálně 15 metrů. Konstrukce se skládá ze dvou montážních dílů o délkách 10 a 5 metrů [13].



Obr. 3.: 3D model pole mostu o délce 15 metrů.

#### 3.1 Zatížení

Velikost zatížení na navrhované varianty polí i podpěr dopravníkového mostu je stejná. Konzervativně je uvažováno s umístěním konstrukce do výšky nejvyšší podpěry, a to do 20 metrů. Na obrázcích je zobrazena velikost zatížení pouze na jeden typ varianty z důvodu přehlednosti. Všechny kombinace jsou provedeny dle [1]. Veškeré zatížení je určeno v souladu s platnými normami [2 - 5] a [10].

Uvažovaná zatížení, kombinace zatížení:

Stav	Jméno	Typ	Souč.	Skupina
1.	Vlastní váha	Vlastní váha	1.00	
2.	Ohřev	Proměnné	1.00	Teplota Výběr.
3.	Ochlazení	Proměnné	1.00	Teplota Výběr.
4.	Zatížení sněhem	Proměnné	1.00	Sníh Výběr.
5.	Vítr příčný +y	Proměnné	1.00	Vítr Výběr.
6.	Vítr příčný -y	Proměnné	1.00	Vítr Výběr.
7.	Vítr podélný +x	Proměnné	1.00	Vítr Výběr.
8.	Vítr podélný -x	Proměnné	1.00	Vítr Výběr.

Stav	Jméno	Typ	Souč.	Skupina
9.	Stálé zatížení	Stálé	1.00	
10.	Transportovaný materiál	Proměnné	1.00	Transportovaný materiál
11.	Užitné	Proměnné	1.00	Užitná
12.	Seismické zatížení	Mimořádné	1.00	Zemětřesení

### Pravidla kombinování

Základní pravidla pro generování kombinací na únosnost.

1 : 1.00\*ZS1 / 1.00\*ZS2 / 1.00\*ZS3 / 1.00\*ZS4 / 1.00\*ZS9

2 : 1.00\*ZS1 / 1.00\*ZS2 / 1.00\*ZS3 / 1.00\*ZS4 / 1.00\*ZS10

3 : 1.35\*ZS1 / 1.35\*ZS2 / 1.35\*ZS3 / 1.35\*ZS4

4 : 1.35\*ZS1 / 1.35\*ZS2 / 1.35\*ZS3 / 1.35\*ZS4 / 1.50\*ZS5 / 1.50\*ZS6 / 0.90\*ZS7 / 0.90\*ZS8

5 : 1.00\*ZS1 / 1.00\*ZS2 / 1.00\*ZS3 / 1.00\*ZS4 / 1.50\*ZS5 / 1.50\*ZS6 / 0.90\*ZS7 / 0.90\*ZS8

6 : 1.35\*ZS1 / 1.35\*ZS2 / 1.35\*ZS3 / 1.35\*ZS4 / 1.05\*ZS5 / 1.05\*ZS6 / 1.50\*ZS7 / 1.50\*ZS8

7 : 1.00\*ZS1 / 1.00\*ZS2 / 1.00\*ZS3 / 1.00\*ZS4 / 1.05\*ZS5 / 1.05\*ZS6 / 1.50\*ZS7 / 1.50\*ZS8

### 3.1.1 Zatížení stálé

#### a) Vlastní tíha nosné konstrukce:

Vlastní tíhu nosné konstrukce vygeneruje software Scia Engineer 2013.

#### b) Obslužná plošina:

Tíha plošiny:

Odhad tíhy obslužné plošiny:  $m \approx 40 \text{ kg} / \text{m}$

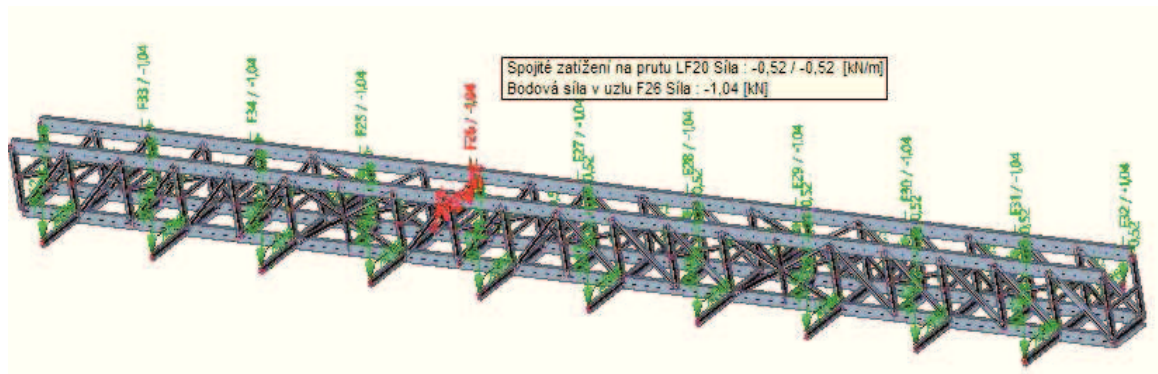
(konzervativní hodnota, zahrnuje i zábradlí konstrukce)

Zatěžována bude každá konzola:  $G_k = 0,4 \cdot 2,6 \text{ m} = 1,04 \text{ kN}$

Tahokov, výplň příhradového vazníku:

Spojitě zatížení liniové od vlastní tíhy tahokovu:  $G_k = 0,2 \cdot 2,6 \text{ m} = 0,52 \text{ kN/m}$



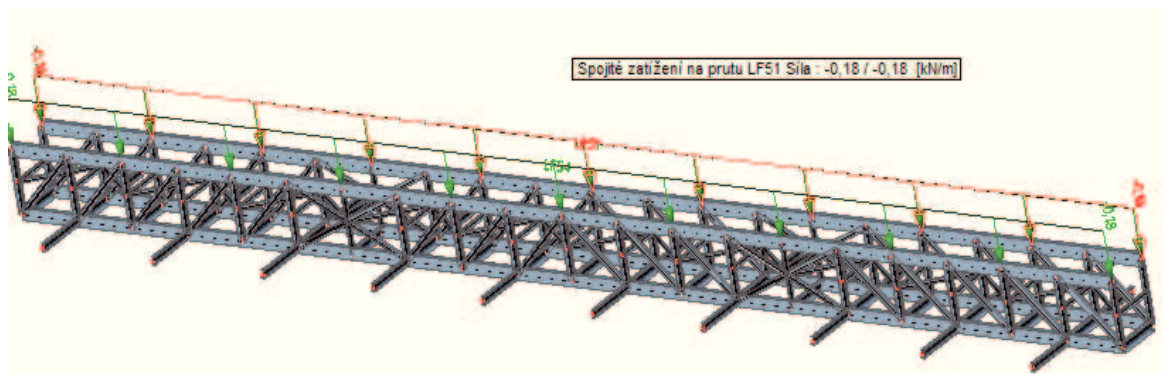


Obr. 4.: Zatížení od obslužné plošiny

**d) Krycí plech střechy:**

Dle specifikace zadavatele:  $m = 35 \text{ kg/m}$

Zatížení na horní pás příhrady:  $g_k = 0,5 \cdot 0,35 = 0,18 \text{ kN/m}$



Obr. 5.: Zatížení od krycího plechu střechy

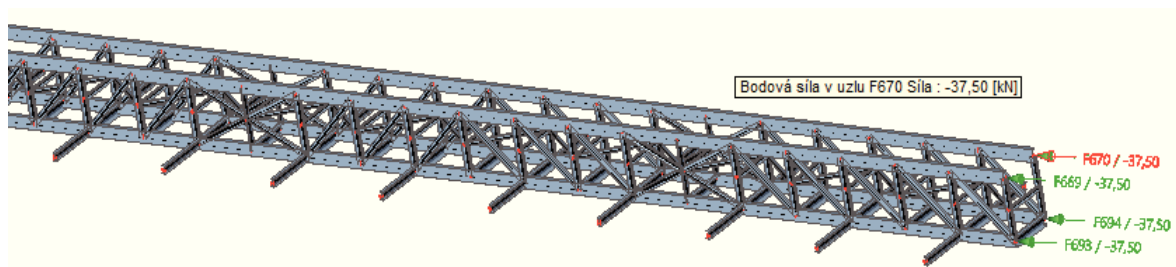
**e) Zatížení od napínací síly pásů:**

Hodnota zatížení vychází z požadavků firmy SE-MI Technology, a.s.

Síla rozložena do 4 styčníků na začátku a na konci dopravníkového mostu.

Celková velikost napínací síly:  $F = 150,0 \text{ kN}$

Reakce do styčníku:  $G_k = 0,25 \cdot 150 = 37,5 \text{ kN}$



Obr. 6.: Zatížení od napínacích sil

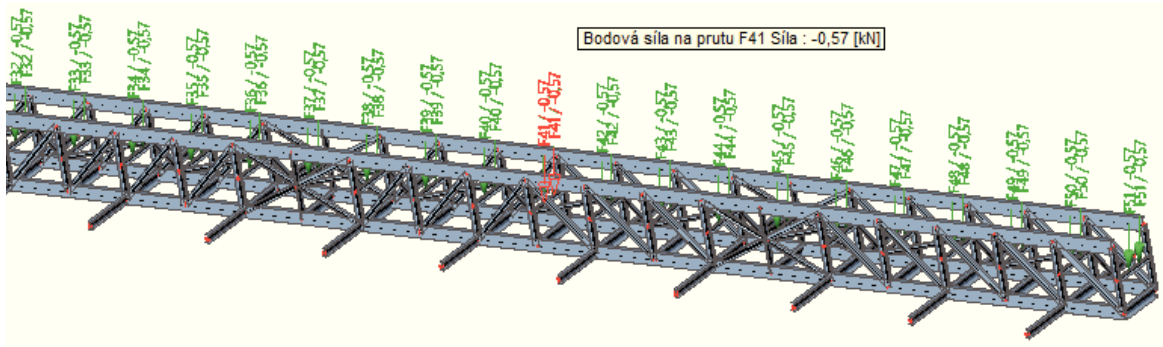
**f) Zatížení z horních válečků:**

Horní válečky umístěny po 1,3 m.

Hmotnost horních válečků:  $m = 30,0 \text{ kg}$

Hmotnost pásů:  $m = 15 \text{ kg/m}$  (dynamický součinitel 1,2)

Reakce do styčníku:  $G_k = 0,5(3 \cdot 0,30 + 0,15 \cdot 1,2 \cdot 1,3) = 0,57 \text{ kN}$



Obr. 7.: Zatížení z horních válečků

#### g) Kabelové rozvody:

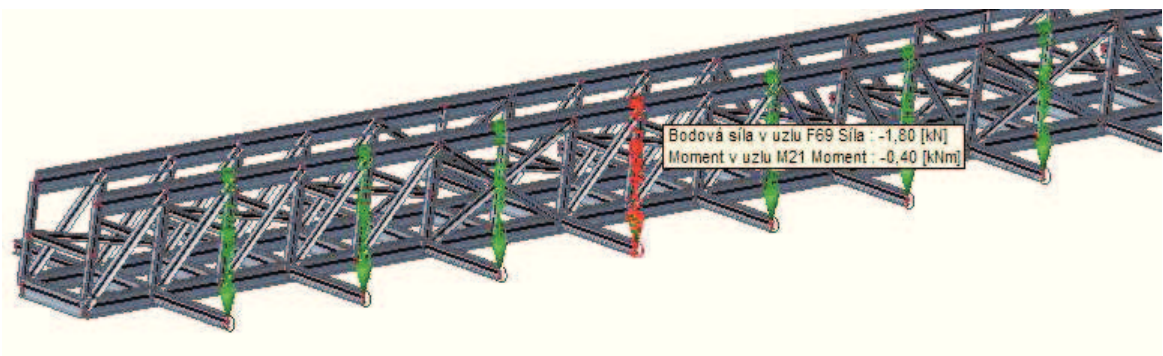
Na vodorovné části mostu na jedné straně dopravníku se předpokládá vedení následujících instalací, které specifikovali projektanti z ST.

- trasa SBT, 10 kg/m
- trasa NN 0,4kV, 40 kg/m
- trasa VN 6kV, 20 kg/m

Kabelové rozvody budou umístěny na zábradlí obslužné plošiny. Vodorovná vzdálenost kabelových rozvodů od konce konzoly se předpokládá 0,2 m.

Svislá síla od kabelových rozvodů:  $G_k = 0,7 \cdot 2,6 \text{ m} = 1,8 \text{ kN}$

Ohybový moment na konci konzoly:  $M_k = G_k \cdot 0,2 \text{ m} = 1,8 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ kNm}$



Obr. 8: Zatížení od kabelových rozvodů



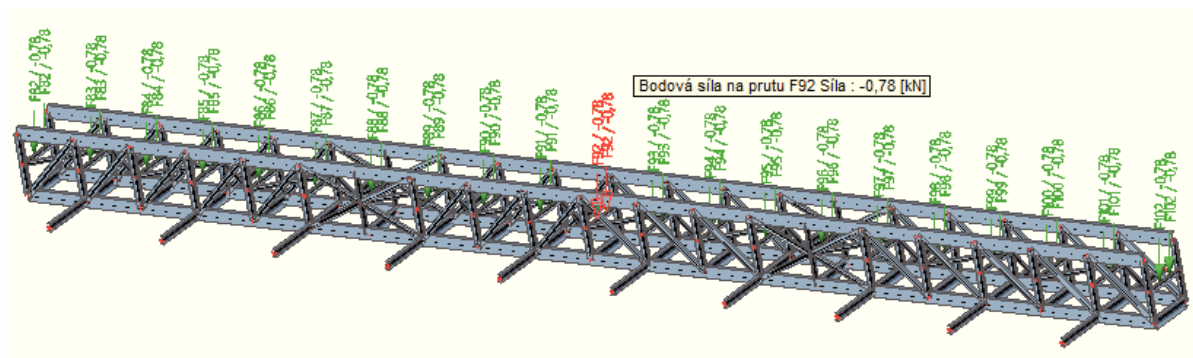
### 3.1.2 Transportovaný materiál

Předpokládá se transport horninové drtě různých druhů s maximální hmotností 100 kg na metr délky dopravníkového pásu. Velikost zatížení specifikovali projektanti z firmy ST.

#### Horninová drť na horním přepravním pásu:

Dle specifikace zadavatele:  $m = 100 \text{ kg/m}$  (dynamický součinitel 1,2)

Reakce do styčnicku:  $Q_k = 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,3 = 0,78 \text{ kN}$



Obr. 9.: Zatížení transportovaného materiálu

### 3.1.3 Zatížení větrem

Při posuzování konstrukce je nutné, aby bylo zatížení větrem umístěno na celek [4]. Minimálně tedy na jedno pole a dvě podpěry. Docílí se pak spolupůsobení a ovlivnění výsledků vnitřních sil u prvků konstrukce. Návrhová rychlost větru byla stanovena na 25 m/s.

#### Maximální charakteristický tlak:

Lokalita Turecko:  $v_{b,0} = 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Rychlost větru je volena na základě požadavků projektantů z ST.

Základní rychlost větru:  $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,

Referenční výška:  $h = 20 \text{ m} \Rightarrow z_e = h = 20 \text{ m}$

Výška je volena pro případ, kdy je vodorovné pole v nejvyšší výšce určené nejvyšší variantou podpěry a to 20 metrů.

Součinitel drsnosti:  $c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} = 0,19 \cdot \ln \frac{20}{0,05} = 1,08$

- terén kategorie II  $\Rightarrow z_0 = 0,05$

dále  $z = z_e = 20m \geq z_{\min} = 2,0 m$

$$k_r = 0,19 \cdot \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left( \frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19$$

Součinitel orografie:  $c_0(z) = 1,0$

Charakteristická střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 1,08 \cdot 1,0 \cdot 25,0 = 27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Maximální charakteristický tlak:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2 = [1 + 7 \cdot 0,175] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 27^2 = 1013 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} = 1,013 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln \frac{20}{0,05}} = 0,175$$

**Příčný vítr – působení větru na příhradový most:**

Součinitel plnosti:  $\varphi \approx 0,5$

Součinitel síly bez vlivu proudění:  $c_{f,0} = 2$

Součinitel koncového efektu:  $\psi_\lambda = 1,0$

Součinitel síly:  $c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 2,0 \cdot 1,0 = 2,0$

Plocha ohraničená okraji čelní plochy:  $A_c = d \cdot l = 1,25 \cdot l = 1,25l \text{ m}^2$

Referenční plocha:  $A_{ref} = \varphi \cdot A_c = 0,5 \cdot 1,25l = 0,625l \text{ m}^2$

Síla od větru na jedno pole příhradového mostu:

$$F_{w,1} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot A_{ref} = 1,0 \cdot 2 \cdot 1,013 \cdot 0,625l = 1,27l \text{ kN}$$

Zjednodušeně je síla rozdělena rovnoměrně na horní i dolní pás:

- síla do styčníků:  $F_{w,k,+y} = 0,25 \cdot \frac{F_{w,1}}{l} \cdot 1,6 \text{ m} = 0,25 \cdot \frac{1,27l}{l} \cdot 1,6 = 0,55 \text{ kN}$

### Příčný vítr - spojité zatížení od obloukové střechy:

Reakce od obloukové střechy jsou určeny pro rozložení větru podle [4], čl. 7.2.8 (obdobné výsledky lze obdržet i pro aproximaci sedlovým přístřeškem podle čl. 7.3).

Pro kruhový tvar válcové skořepiny platí:  $\frac{f}{d} = 0,5$ .

Odpovídající hodnoty součinitele vnějšího tlaku:  $c_{pe,10,A} = +0,8$

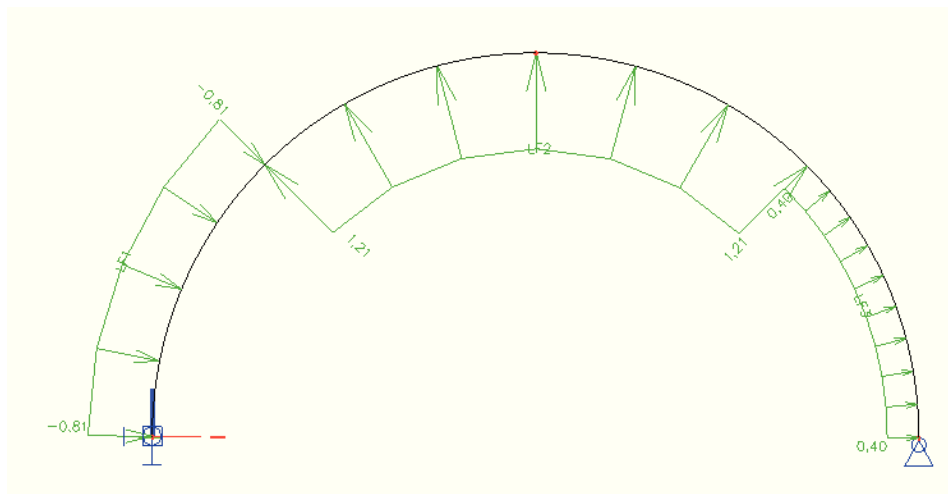
$$c_{pe,10,B} = -1,2$$

$$c_{pe,10,C} = -0,4$$

Odpovídající spojitá zatížení:  $w_{k,A} = q_p c_{pe,10,A} = 1,01 \cdot (+0,8) = +0,81 \text{ kN/m}^2$

$$w_{k,B} = q_p c_{pe,10,B} = 1,01 \cdot (-1,2) = -1,21 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{k,C} = q_p c_{pe,10,C} = 1,01 \cdot (-0,4) = -0,4 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 10.: Zatížení větrem na střechu dopravníku

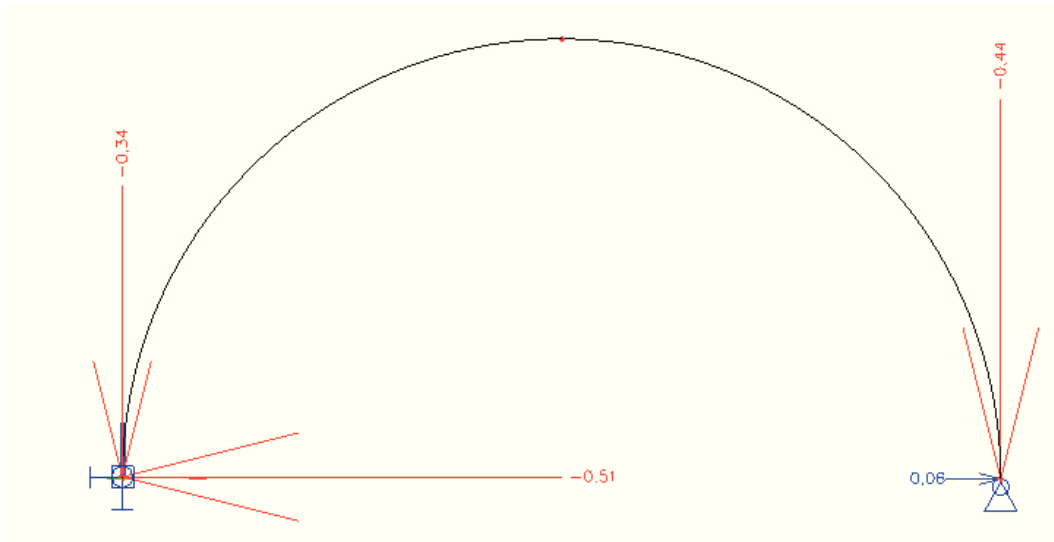
Odpovídající reakce (působí jako spojité zatížení na horní pásy mostu):

$$f_{w,z,1,k} = -0,34 \text{ kN/m}$$

$$f_{w,z,2,k} = -0,44 \text{ kN/m}$$

$$f_{w,y,1,k} = 0,51 \text{ kN/m}$$

$$f_{w,y,1,k} = -0,06 \text{ kN/m}$$



Obr. 11.: Reakce od zatížení větrem na střechu dopravníku

### Příčný vítr - síla od větru na kyvnou stojku:

Součinitel síly pro nosné prvky s otevřenými průřezy:  $c_{f,0} = 2,0$

Součinitel koncového efektu:  $\psi_\lambda = 1,0$  (konzervativně)

Součinitel síly:  $c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 2,0 \cdot 1,0 = 2,0$

Plocha odpovídající dvěma pásům příhradové stojky IPE 400:  $A_{ref} = 2 \cdot 0,4 \cdot H = 0,8H \text{ m}^2$

Konzervativně voleno pro nejvyšší variantu podpěry.

Síla od příčného větru na celou podpěru mostu:

$$F_{w,2,+y} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot A_{ref} = 1,0 \cdot 2,0 \cdot 1,01 \cdot 0,8H = 1,62H \text{ kN}$$

Síla se rozdělí jako spojitě zatížení na pásy podpěry.

$$f_{w,k,+y} = 0,5 \frac{F_{w,2,+y}}{H} = 0,5 \cdot \frac{1,62H}{H} = 0,81 \text{ kN/m}$$



Obr. 12.: Zatížení příčným větrem -y (+ další stav se zatížením z druhé strany +y)

#### Podélný vítr - působení větru na příhradový most:

Vítr na pole příhradového mostu – uvažuje se jako 50 % sil od příčného větru:

$$F_{w,+x,1} = 0,5F_{w,1} = 0,5 \cdot 1,27l = 0,635l \text{ kN}$$

Síla do styčníků:

$$F_{w,k,+x} = 0,25 \cdot \frac{F_{w,+x,1}}{l} \cdot 1,3 \text{ m} = 0,25 \cdot \frac{0,635l}{l} \cdot 1,3 = 0,22 \text{ kN}$$

#### Podélný vítr – síla od větru na kyvnou stojku:

Součinitel plnosti:  $\varphi \approx 0,15$

Součinitel síly bez vlivu proudění:  $c_{f,0} = 2$

Součinitel koncového efektu:  $\psi_\lambda = 1,0$  (konzervativně)

Součinitel síly:  $c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 2,0 \cdot 1,0 = 2,0$

Plocha ohraničená okraji čelní plochy:  $A_c = h \cdot b_{pr} \cong h \cdot 5,0 = 5h \text{ m}^2$

Referenční plocha:  $A_{ref} = \varphi \cdot A_c = 0,15 \cdot 5h = 0,75h \text{ m}^2$

**Síla od větru na jedno pole příhradového mostu:**

$$F_{w,2,+x} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot A_{ref} = 1,0 \cdot 2 \cdot 1,01 \cdot 0,75h = 1,515h \text{ kN}$$

Zjednodušeně je síla rozdělena rovnoměrně pouze na pásy kyvné stojky:

$$f_{w,k,+x} = 0,5 \frac{F_{w,2,+x}}{h} = 0,5 \cdot \frac{1,515h}{h} = 0,76 \text{ kN/m}$$



Obr. 13.: Zatížení podélným větrem +x (+ další stav se zatížením z druhé strany -x)

### 3.1.4 Zatížení teplotou

Při posuzování konstrukce je nutné, aby bylo zatížení teplotou umístěno na celou konstrukci mostu. Docílí se pak spolupůsobení, ovlivnění výsledků vnitřních sil a především posunů dilatačních celků konstrukce [5]. Rozptyl teplot byl specifikován projektanty z ST.

Lokalita Turecko: léto:  $T_{\max} = 40^{\circ}\text{C}$

zima:  $T_{\min} = -35^{\circ}\text{C}$

Průměrná teplota nosného prvku:

Světle jasný povrch:  $T_3 \approx \frac{0^{\circ}\text{C} + 18^{\circ}\text{C}}{2} = 9^{\circ}\text{C}$

$$\text{Léto: } T = T_{\max} + T_3 = 40 + 9 = 49^{\circ}\text{C}$$

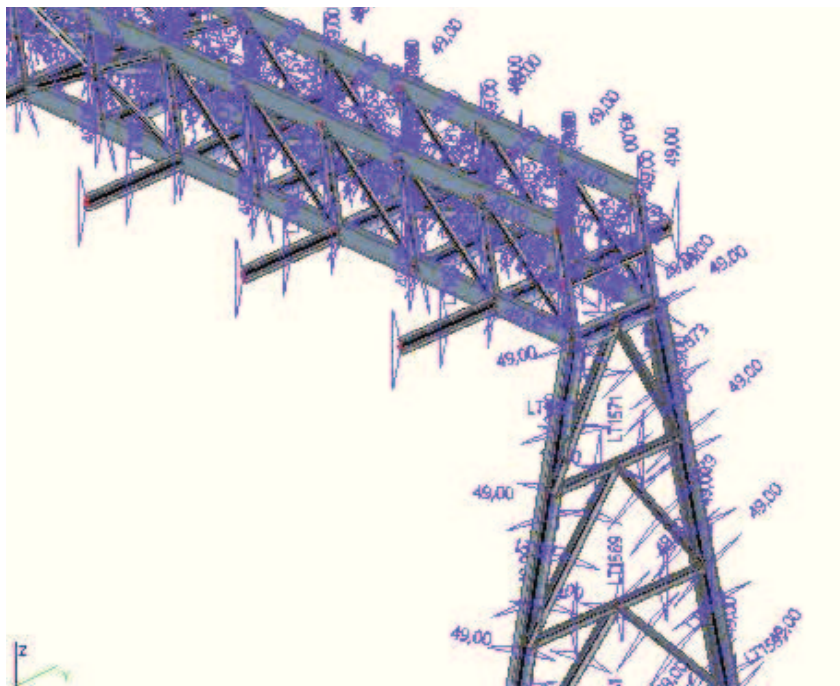
$$\text{Zima: } T = T_{\min} = -35^{\circ}\text{C}$$

Rovnoměrná složka teploty:

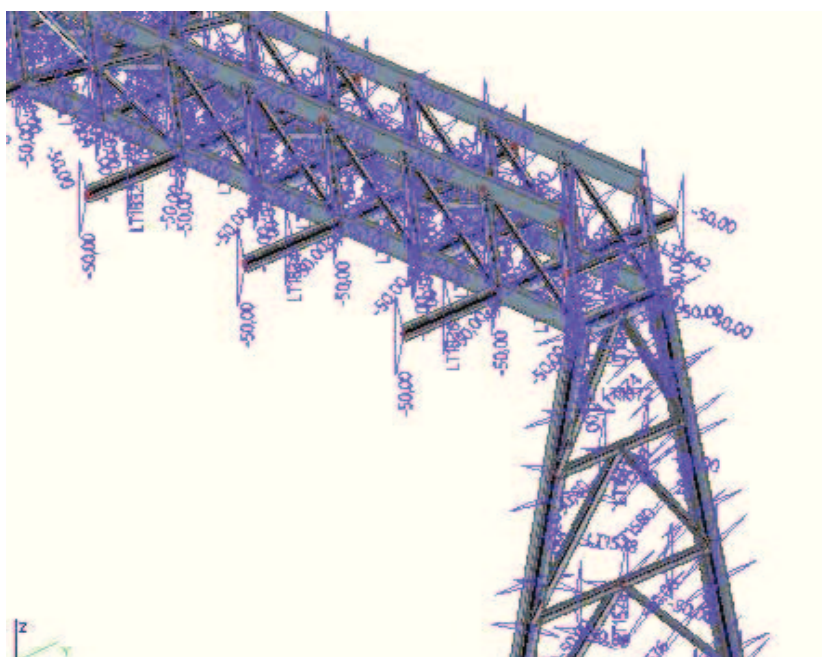
Předepsaný rozptyl montážních teplot:  $T_0 = 0$  až  $15^{\circ}\text{C}$

$$\text{Léto: } \Delta T_N = T - T_{0,\min} = 49 - 0 = 49^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Zima: } \Delta T_N = T - T_{0,\min} = -35 - 15 = -50^{\circ}\text{C}$$



Obr. 14.: Zatížení ohřevem



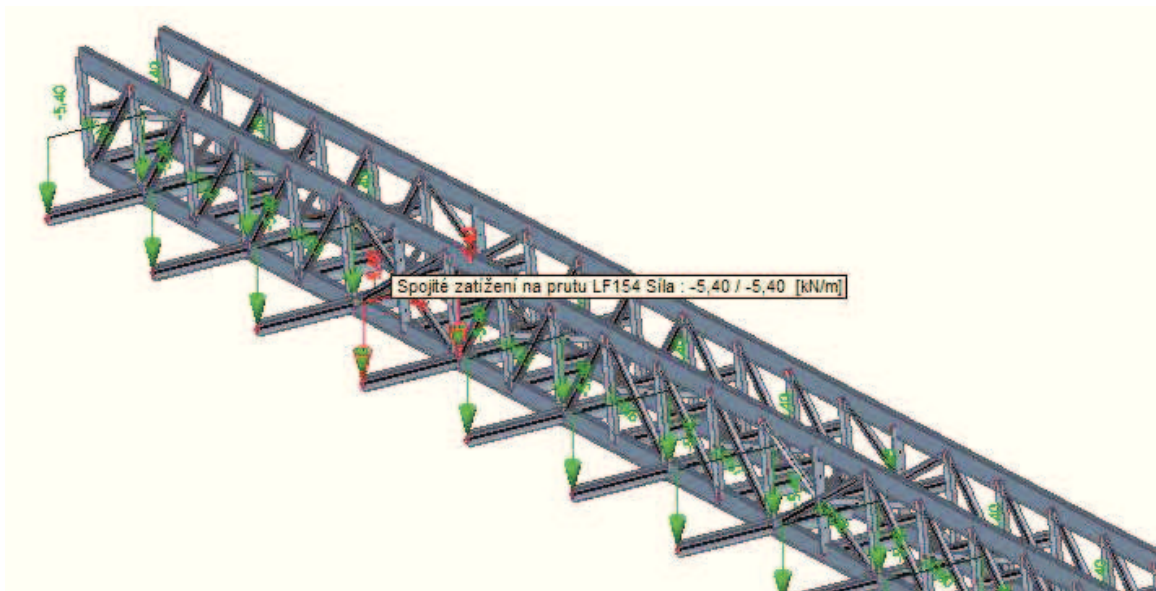
Obr. 15.: Zatížení ochlazením



### 3.1.5 Zatížení užité na plošině

Technologický požadavek:  $q_k = 2 \text{ kN/m}^2$  (specifikovali projektanti ze ST)

Zatížení na konzolu:  $q_k = 2 \cdot 2,7 \text{ m} = 5,4 \text{ kN/m}$



Obr. 16.: Zatížení užitným zatížením (+druhý stav na druhé straně lávky dopravníku)

#### Vodorovné zatížení na zábradlí

Pro návrh zábradlí, jeho kotvení a pro posudek konzoly včetně jejího připoje k dolnímu pásu mostu se uvažuje se zatížením působícím na horní madlo zábradlí:

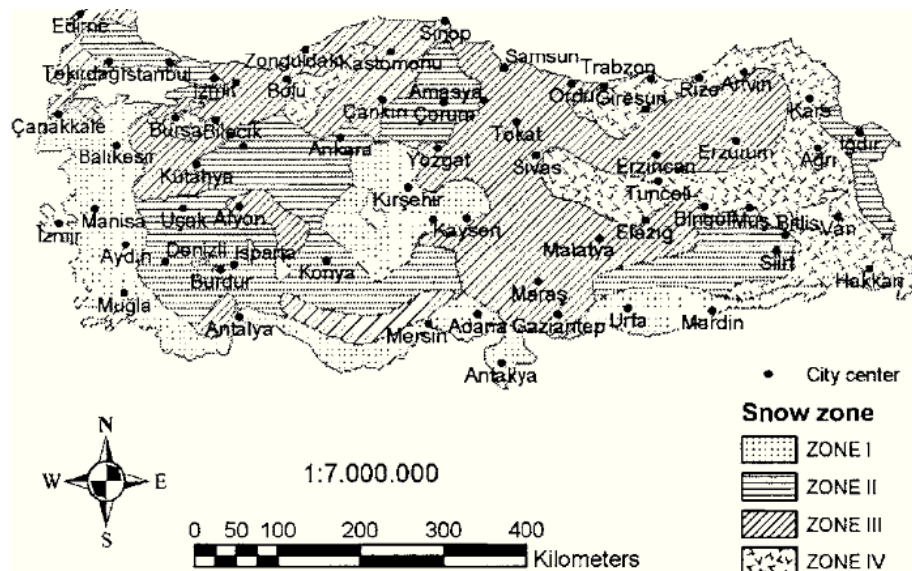
$$q_k = 2 \text{ kN/m} \text{ (kategorie E dle [3])}$$

Ohybový moment na konci konzoly:  $M_k = q_k \cdot 2,7 \cdot 1,2 = 2 \cdot 2,7 \cdot 1,2 = 6,48 \text{ kNm}$



## 3.1.6 Zatížení sněhem

Lokalita Turecko +



Obr. 17.: Sněhová mapa Turecka

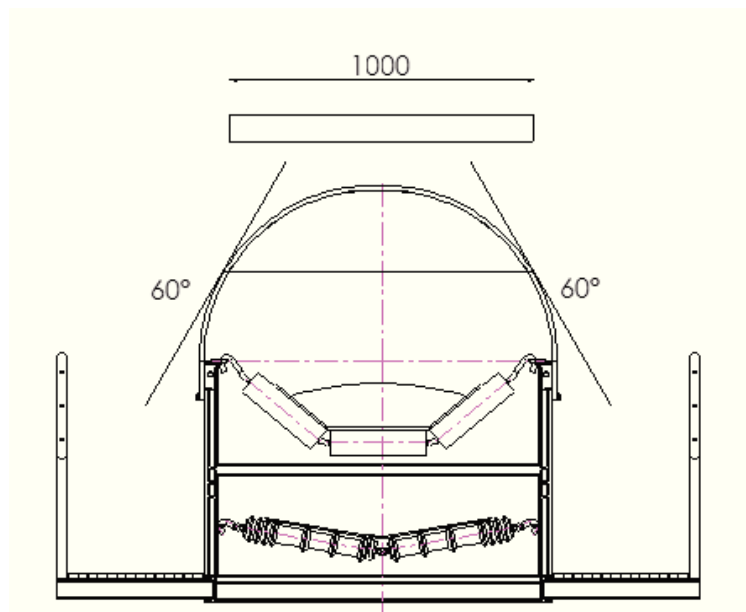
Elevation of the location (m)	Zones			
	I	II	III	IV
≤200	0.75	0.75	0.75	0.75
300	0.75	0.75	0.75	0.80
400	0.75	0.75	0.75	0.80
500	0.75	0.75	0.75	0.85
600	0.75	0.75	0.80	0.90
700	0.75	0.75	0.85	0.95
800	0.80	0.85	1.25	1.40
900	0.80	0.95	1.30	1.50
1000	0.80	1.05	1.35	1.60
> 1000 and < 1500	a	a	a	a
> 1500	b	b	b	b

a The values corresponding to 1000 m are increased by 10%.  
b The values corresponding to 1000 m are increased by 15%.

Obr. 18.: Legenda sněhové mapy Turecka

Charakteristická hodnota zatížení sněhem:  $s_k = 1,6 \cdot 1,15 = 1,85 \text{ kN/m}^2$

Zatěžovací šířka na jednu příhradu:  $b = 0,5 \cdot 1,0 = 0,5 \text{ m}$



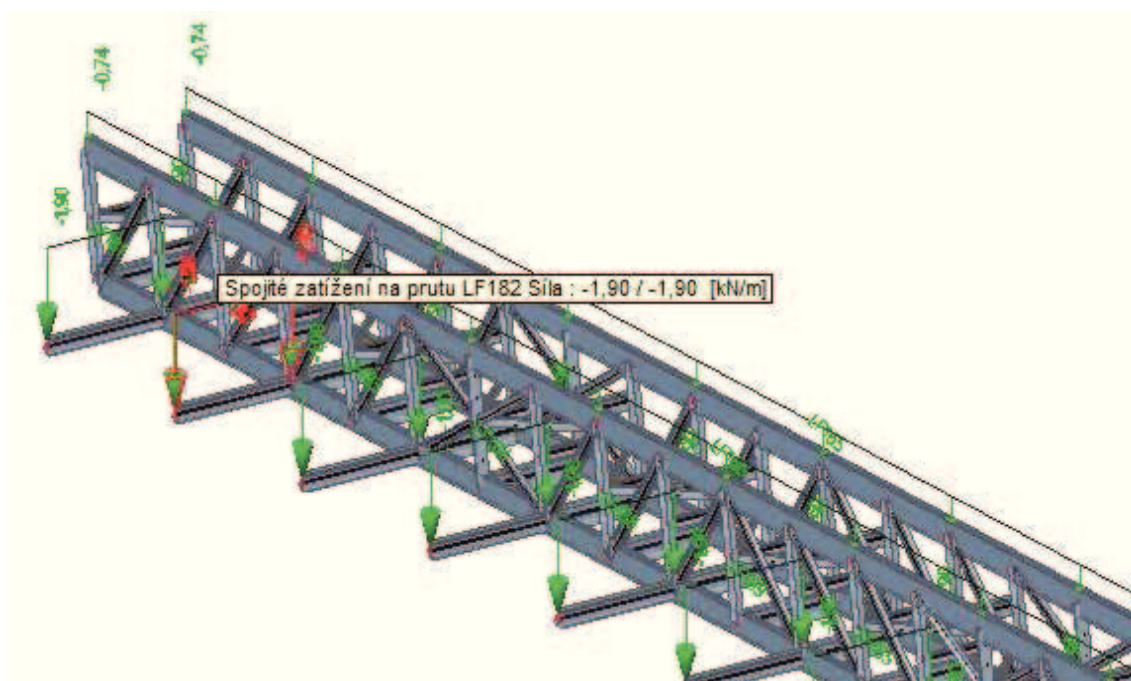
Obr. 19.: Příčný řez dopravníkem a schéma umístění zatížení sněhem

Charakteristické zatížení na horní pás příhrady:

$$s_k = b \cdot 0,8 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_{k,plošné} = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,85 = 0,74 \text{ kN/m}$$

Charakteristické zatížení na konzoly obslužné lávky:

$$s_k = 0,5 \cdot b_l \cdot 0,8 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_{k,plošné} = 0,5 \cdot 2,6 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,85 = 1,9 \text{ kN/m}$$



Obr. 20.: Zatížení sněhem.

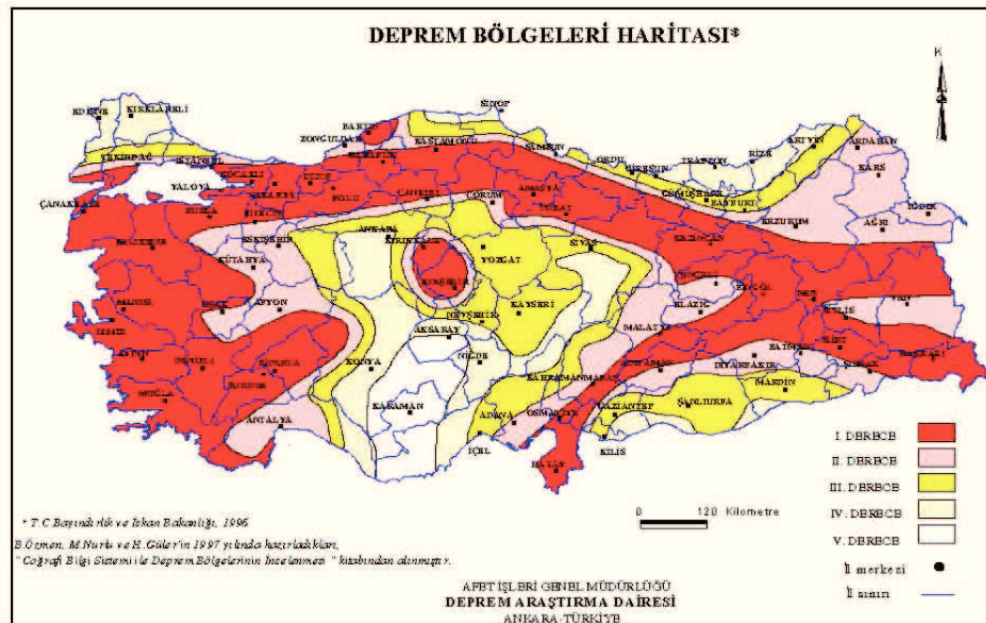
Zatížení sněhem je v dalších zatěžovacích stavech umístěno na druhou stranu obslužné lávky a na obě zároveň [3].

## 3.1.7 Seismické zatížení

Referenční zrychlení základové půdy:  $a_{gR} = 0,4 g$

(pro možnost použití kdekoliv v oblasti Turecka volena konzervativně nejhorší oblast, tedy

I. oblast)



Obr. 21.: Mapa seismického zatížení Turecka

Peak Ground Acceleration for stiff soil	
Seismic zone	$A_0$
I	0.40g
II	0.30g
III	0.20g
IV	0.10g
V	no seismic provisions

Obr. 22.: Legenda mapy seismického zatížení Turecka

Třída významu stavby IV:  $\gamma_1 = 1,4$

Typ základové půdy D: spektrum 1

spektrum 2

$S = 1,35$

$S = 1,8$

$T_B = 0,20 s$

$T_B = 0,10 s$

$T_C = 0,8 s$

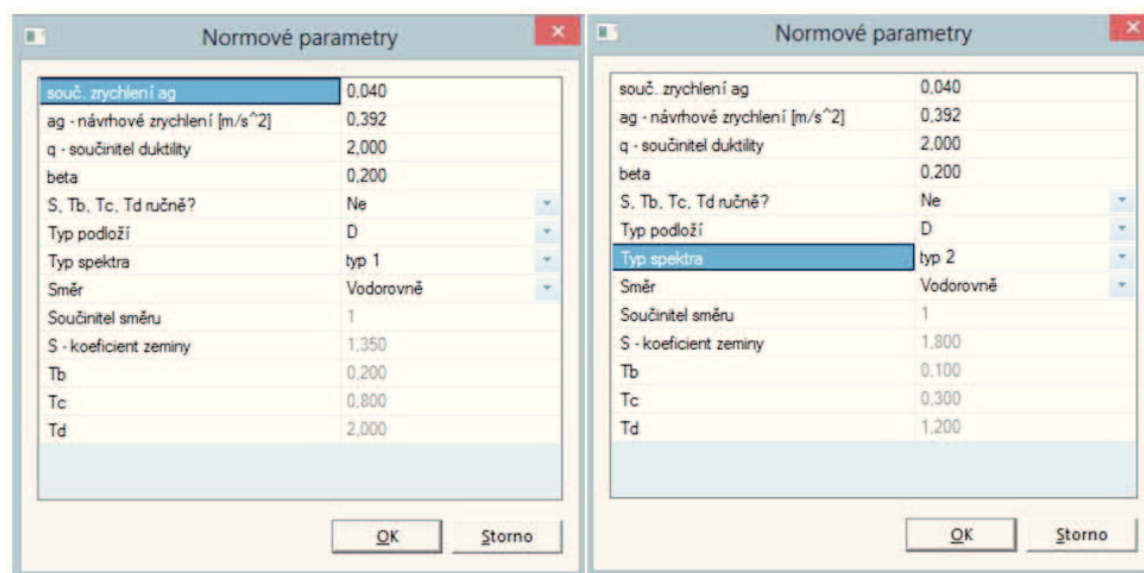
$T_C = 0,3 s$

$T_D = 2,0 s$

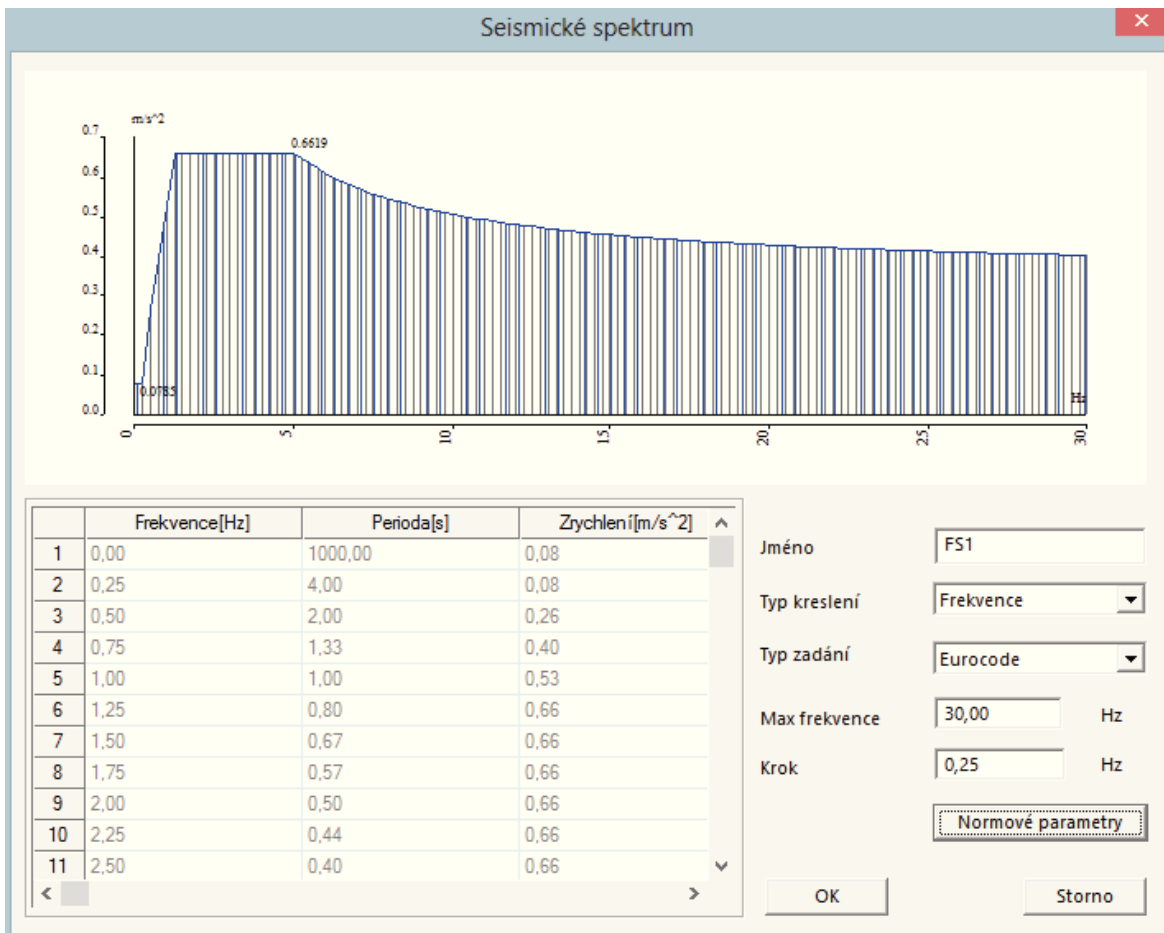
$T_D = 1,2 s$

Součinitel duktility:  $q = 2,0$  (střední duktilita M, vodorovné V výztuhy)

Zatížení bylo vygenerováno pomocí SciaEngineer 2013 dle [10 a 21] ve směru osy X, Y v obou spektrech základové půdy s následnými parametry:



Obr. 23.: Zadávané parametry seismického zatížení v programu Scia Engineer 2013



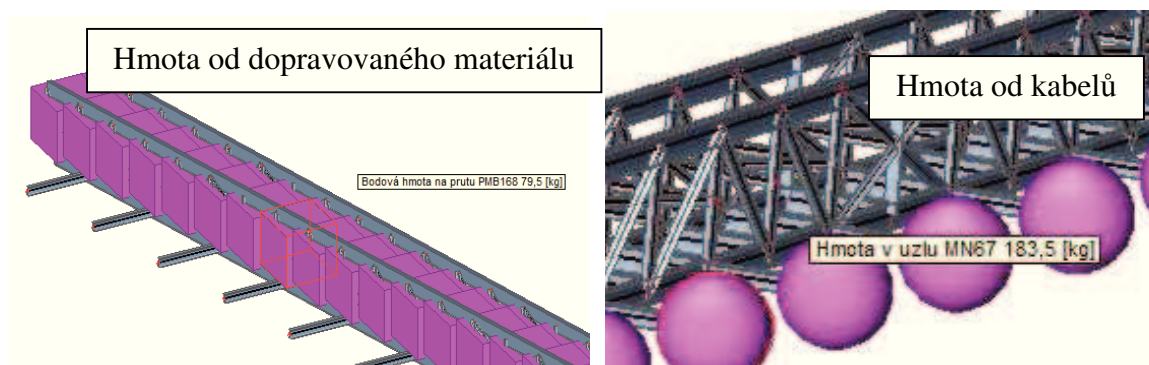
Obr. 24.: Seismické spektrum zadávané v programu Scia Engineer 2013

Zatížení zemětřesením bylo zadáno ve směru osy x, y zvlášť i v kombinacích a to v poměru 100% ve směru X a 30% ve směru Y, a naopak v souladu s požadavky [10 a 21].

Jméno	LC18
Popis	dynamikaXS1
Typ působení	Nahodilé
Skupina zatížení	LG7
Typ zatížení	Dynamické
Specifikace	Seismické
<b>Parametry</b>	
<b>Směr X</b>	
Směr X	<input checked="" type="checkbox"/>
Spectrum odezvy X	FS1
Součinitel X	1
<b>Směr Y</b>	
Směr Y	<input checked="" type="checkbox"/>
Spectrum odezvy Y	FS1
Součinitel Y	0,3
<b>Směr Z</b>	
Směr Z	<input type="checkbox"/>
Součinitel zrychlení	1
Překlopení [m]	0,000

Obr. 25.: Zadávané hodnoty zatížení zemětřesením v programu Scia Engineer 2013

Pro správné vyhodnocení účinků seismického zatížení je nutné zadat do modelu konstrukce hmoty, které v době zemětřesení mohou na konstrukci působit [10]. Hmoty vygeneruje software. Je však nutné zadat z jakých zatížení. Ve statickém výpočtu se předpokládá, že v době zemětřesení bude na konstrukci působit veškeré zatížení stálé a zároveň zatížení od dopravovaného materiálu.



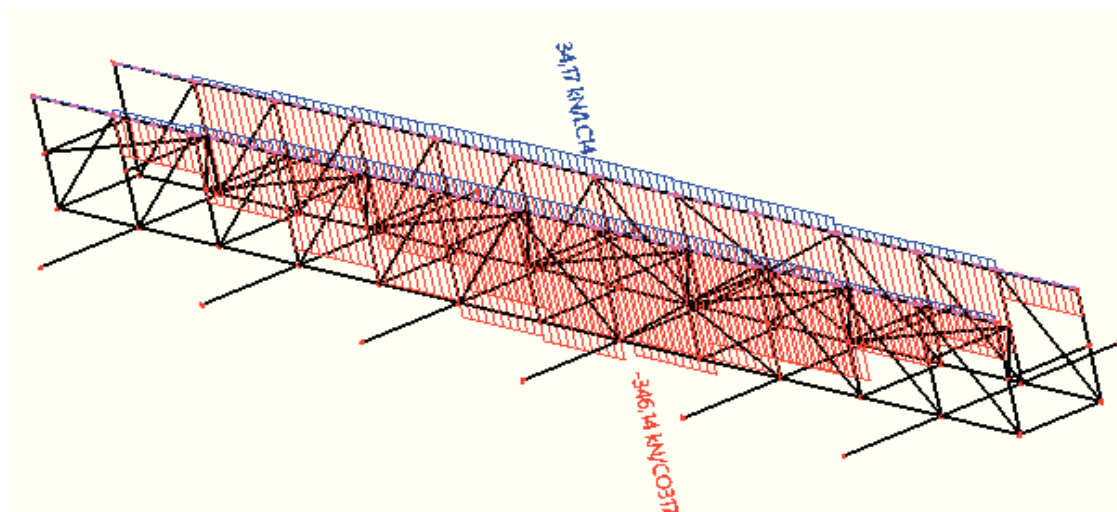
Obr. 26.: Příklady zadávaných hmot na modelu konstrukce v programu Scia Engineer 2013



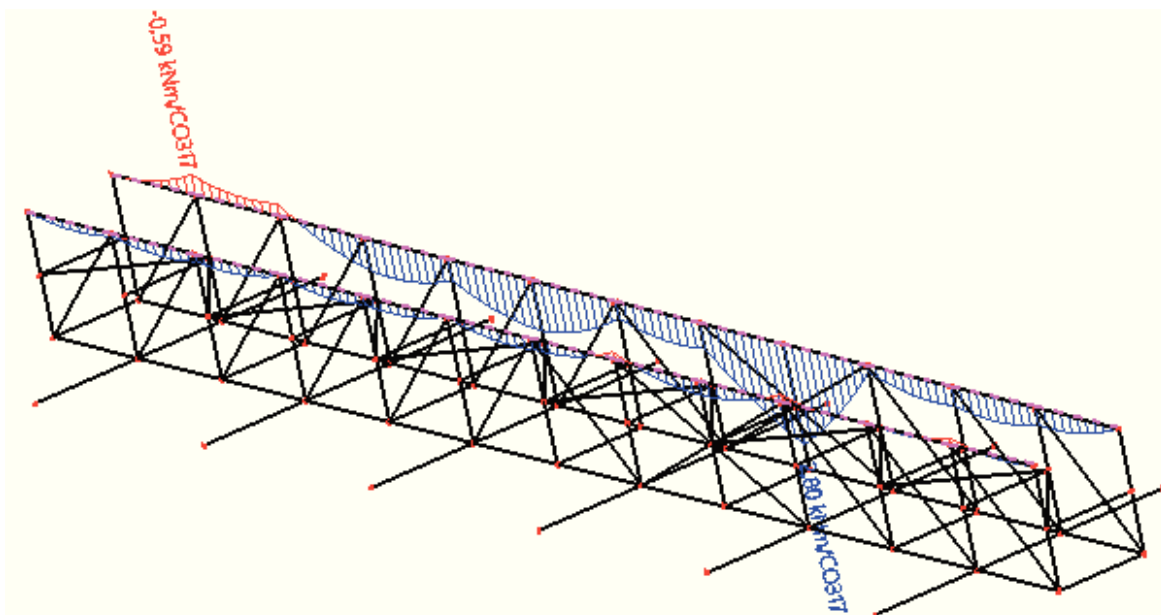
## 3.2 Posudek horního pásu mostu o délce 15 metrů

**Rozhodující kombinace zatížení:**Kombinace rozhodující pro max. tlak  $N_{\max}$ 

$N_{\max,Ed} =$	-346,14	$kN$
$M_{y,Ed} =$	2,8	$kN$
$M_{z,Ed} =$	0	$kN$



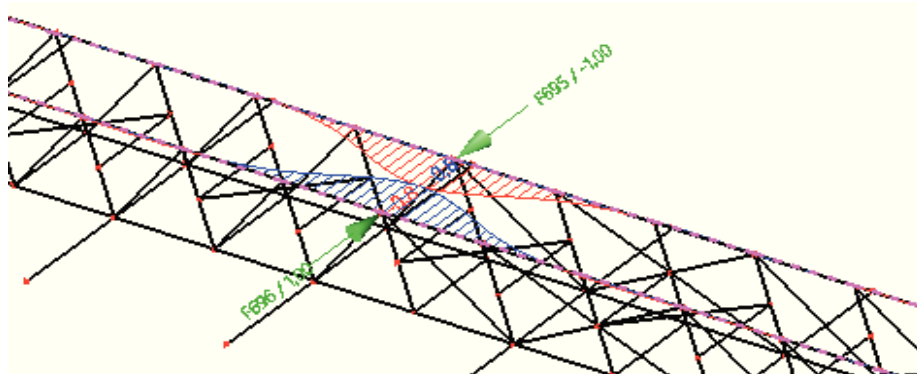
Obr. 27.: Maximální velikost normálových sil na horních pásech pole dopravníku

Obr. 28.: Velikost příslušných ohybových momentů  $M_y$  na horních pásech pole dopravníku

### Určení vzpěrné délky horního pásu pro vybočení z roviny:

Deformace polorámu od jednotkové síly:

$$\delta = 0,8 \text{ mm}$$



Obr. 29.: Velikost vodorovné deformace horního pásu dopravníku od jednotkové síly

Pružný odpor polorámu:

$$C = \frac{1}{\delta} = \frac{1}{0,8} = 1,25 \text{ kN/mm}$$

Limitní pružný odpor:

$$C_{\text{lim}} = \frac{4,5 \cdot N_{Ed, \text{max}}}{s_{\text{min}}} \gamma_{M1} = \frac{4,5 \cdot 346,14 \cdot 10^3}{1318} \cdot 1,0 = 1181 \text{ N/mm} = 1,18 \text{ kN/mm}$$

$C = 2,00 \text{ kN/mm} \geq C_{\text{lim}} = 1,18 \text{ kN/mm}$  - vzpěrná délka je tedy rovna vzdálenosti příčných polorámů [22]

### Průřezové charakteristiky:

<b>Průřez:</b>	<b>U 140</b>	
<b>Ocel:</b>	<b>S355</b>	
A=	2,04E+03	mm <sup>2</sup>
W <sub>pl,y</sub> =	1,03E+05	mm <sup>3</sup>
W <sub>pl,z</sub> =	2,83E+04	mm <sup>3</sup>
i <sub>y</sub> =	5,45E+01	mm
i <sub>z</sub> =	1,75E+01	mm
A <sub>vz</sub> =	1,77E+03	mm <sup>2</sup>
I <sub>w</sub> =	1,80E+09	mm <sup>4</sup>
I <sub>T</sub> =	5,68E+04	mm <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	6,27E+05	mm <sup>4</sup>



**Vzpěrná únosnost:**

Vzpěrné délky:

$$L_{cr,y} = 1,318 \quad m$$

$$L_{cr,z} = 1,318 \quad m$$

$$L_{LT} = 1,318 \quad m$$

Vzpěry y-y:  $\varepsilon = 0,8136$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 24,183 \quad \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 0,317$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,399$$

křivka vzpěrnosti:    $\alpha = 0,49$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0,941 \quad \phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,579$$

**Vzpěry z-z:**

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = 75,314 \quad \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 0,986$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,399$$

křivka vzpěrnosti:    $\alpha = 0,49$

$$\phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 1,178$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0,548$$

**Rozhoduje vzpěr:** z-z

**Klopení:**

$k_z = 1$	$\xi_j = 0$	$z_j = 0$
$k_w = 1$	$\xi_g = 0$	$z_g = 0$
$k_y = 1$	$L_{cr,z} = 1,318 \quad m$	
$C_1 = 1$	$L_{LT} = 1,318 \quad m$	
$C_2 = 0$		

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g)^2} - C_2 \zeta_g \right] = 1,211 \quad \kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = 0,683$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 71052,51 \text{ Nmm} \quad \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = 0,717$$

křivka klopení:



$\alpha_{LT} = 0,76$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,954$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,632$$

**Posudek na tlak s dvojosým ohybem:**

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 724,20 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 36,57 \text{ kNmm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 10,05 \text{ kNmm}$$

$$k_{zy} = 1,00 \quad (\text{konzervativně})$$

$$k_{zz} = 1,00 \quad (\text{konzervativně})$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 0,987 < 1$$

**vyhovuje**

### 3.3 Posudek dolního pásu mostu o délce 15 metrů

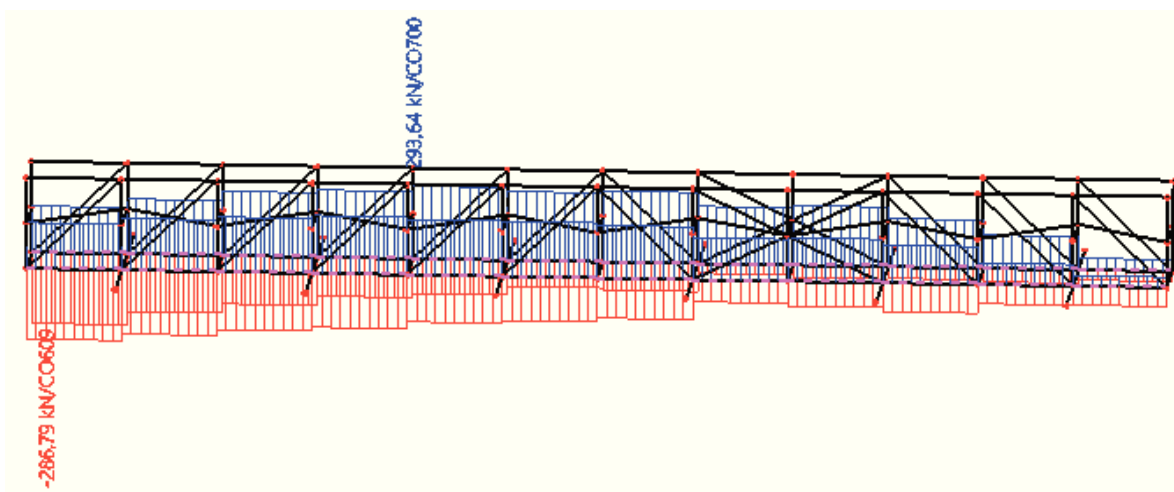
**Rozhodující kombinace zatížení:**

Kombinace rozhodující pro max tah  $N_{\max}$

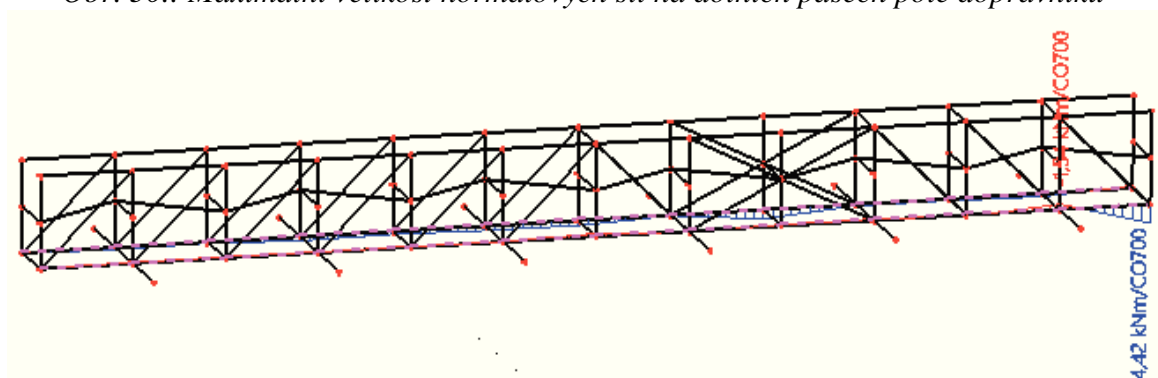
$$N_{\max,Ed} = 293,64 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 4,42 \text{ kNm}$$

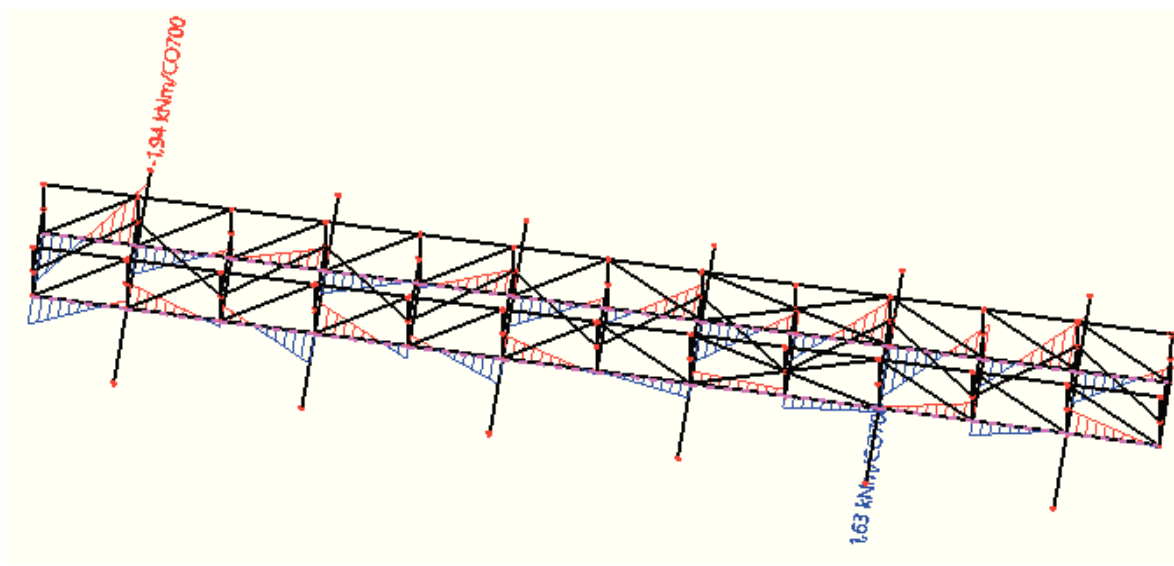
$$M_{z,Ed} = 1,94 \text{ kNm}$$



Obr. 30.: Maximální velikost normálových sil na dolních pásech pole dopravníku



Obr. 31.: Velikost příslušných ohybových momentů  $M_y$  na dolních pásech pole dopravníku



Obr. 32.: Velikost příslušných ohybových momentů  $M_z$  na dolních pásech pole dopravníku

**Průřezové charakteristiky:****Průřez:** U 140**Ocel:** S355

A=	2,04E+03	mm <sup>2</sup>
W <sub>pl,y</sub> =	1,03E+05	mm <sup>3</sup>
W <sub>pl,z</sub> =	2,83E+04	mm <sup>3</sup>
i <sub>y</sub> =	5,45E+01	mm
i <sub>z</sub> =	1,75E+01	mm
A <sub>vz</sub> =	1,77E+03	mm <sup>2</sup>
I <sub>w</sub> =	1,80E+09	mm <sup>4</sup>
I <sub>T</sub> =	5,68E+04	mm <sup>4</sup>
I <sub>Z</sub> =	6,27E+05	mm <sup>4</sup>

**Klopení:**

k <sub>z</sub> =	1	ξ <sub>j</sub> =	0	z <sub>j</sub> =	0
k <sub>w</sub> =	1	ξ <sub>g</sub> =	0	z <sub>g</sub> =	0
k <sub>y</sub> =	1	L <sub>cr,z</sub> =	1,25	m	
C <sub>1</sub> =	1	L <sub>LT</sub> =	1,25	m	
C <sub>2</sub> =	0				

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g)^2} - C_2 \zeta_g \right] = 1,232 \quad \kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = 0,720$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 76238,41 \text{ Nmm} \quad \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = 0,693$$

křivka klopení:   α<sub>LT</sub>= 0,76

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,927$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,648$$

**Posudek na tah s dvojosým ohybem:**

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 724,20 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 36,57 \text{ kNmm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 10,05 \text{ kNmm}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 0,785 < 1$$

vyhovuje

**Rozhodující kombinace zatížení:**Kombinace rozhodující pro max tlak  $N_{\max}$ 

$$N_{\max,Ed} = -286,79 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 1,81 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 1,15 \text{ kN}$$

**Vzpěrná únosnost:**

$$\text{Vzpěrné délky: } L_{cr,y} = 1,25 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 1,25 \text{ m}$$

$$L_{LT} = 1,25 \text{ m}$$

$$\text{Vzpěry y-y: } \varepsilon = 0,814$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 22,936 \quad \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 0,300$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,399$$

$$\text{křivka vzpěrnosti: } \text{c} \quad \alpha = 0,49$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0,949 \quad \phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,570$$

Vzpěry z-z:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = 71,429 \quad \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 0,935$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,399$$

křivka vzpěrnosti:  $\alpha = 0,49$

$$\phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 1,117$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0,579$$

**Rozhoduje vzpěr:** z-z

**Posudek na tlak s dvojosým ohybem:**

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 724,2 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 36,57 \text{ kNmm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 10,05 \text{ kNmm}$$

$$k_{zy} = 1,00 \quad (\text{konzervativně})$$

$$k_{zz} = 1,00 \quad (\text{konzervativně})$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 0,875 < 1$$

**vyhovuje**

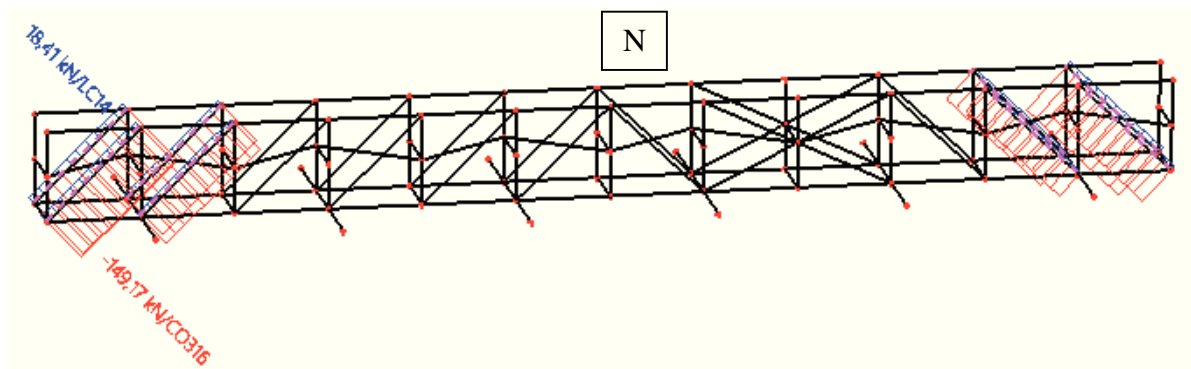
### 3.4 Posudek diagonál pole mostu o délce 15 metrů

#### 3.4.1 Krajiní dvě tlačené diagonály

**Rozhodující kombinace zatížení:**

Kombinace rozhodující pro  $N_{\max}$ :

$$N_{\max,Ed} = -149,17 \text{ kN}$$



Obr. 33.: Maximální velikost normálových sil na prvních dvou tlačných diagonálách pole dopravníku

**Průřezové  
charakteristiky:****Průřez: U 120****Ocel: S355**

$$A = 1,70E+03 \text{ mm}^2$$

$$i_y = 4,62E+01 \text{ mm}$$

$$i_z = 1,59E+01 \text{ mm} \quad (\text{rozhoduje vzpěr k ose } z)$$

**Vzpěrná únosnost:**

$$\text{Vzpěrné délky: } L_{cr,y} = 1,816 \text{ m} \quad (\text{konzervativně systémová délka})$$

$$L_{cr,z} = 1,816 \text{ m} \quad (\text{konzervativně systémová délka})$$

$$L_{LT} = 1,816 \text{ m} \quad (\text{konzervativně systémová délka})$$

$$\varepsilon = 0,8136$$

Vzpěry z-z:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = 114,214$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 1,495$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,399$$

$$\text{křivka vzpěrnosti: } \text{c} \quad \alpha = 0,49$$

$$\phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 1,935$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0,316$$

**Posudek na vzpěr v rovině z-z:**

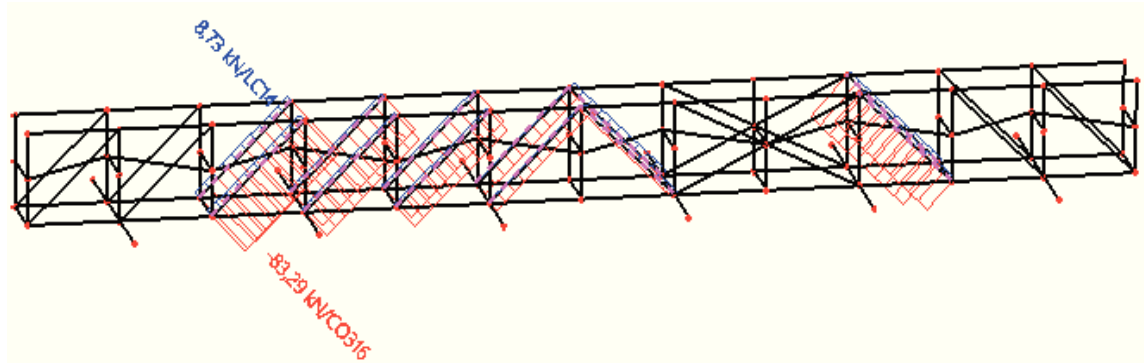
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 190,808 > 149,17 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

## 3.4.2 Vnitřní tlačené diagonály

**Rozhodující kombinace zatížení:**Kombinace rozhodující pro  $N_{\max}$ :

$$N_{\max Ed} = -83,29 \text{ kN}$$



Obr. 34.: Maximální velikost normálových sil na zbylých tlačných diagonálách pole dopravníku

**Průřezové charakteristiky:****Průřez:** U 80**Ocel:** S355

$$A = 1,10 \text{E}+03 \text{ mm}^2$$

$$i_y = 3,10 \text{E}+01 \text{ mm}$$

$$i_z = 1,33 \text{E}+01 \text{ mm} \quad (\text{rozhoduje vzpěr k ose } z)$$

**Vzpěrná únosnost:**

$$\text{Vzpěrné délky: } L_{cr,y} = 1,816 \text{ m} \quad (\text{konzervativně systémová délka})$$

$$L_{cr,z} = 1,816 \text{ m} \quad (\text{konzervativně systémová délka})$$

$$L_{LT} = 1,816 \text{ m} \quad (\text{konzervativně systémová délka})$$

$$\varepsilon = 0,8136$$

Vzpěry z-z:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = 136,541 \quad \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 1,787$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,399$$

$$\text{křivka vzpěrnosti: } \text{c} \quad \alpha = 0,49$$

$$\phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 2,486$$



$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0,237$$

**Posudek na vzpěr v rovině z-z:**

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 92,670 > 83,29 kN$$

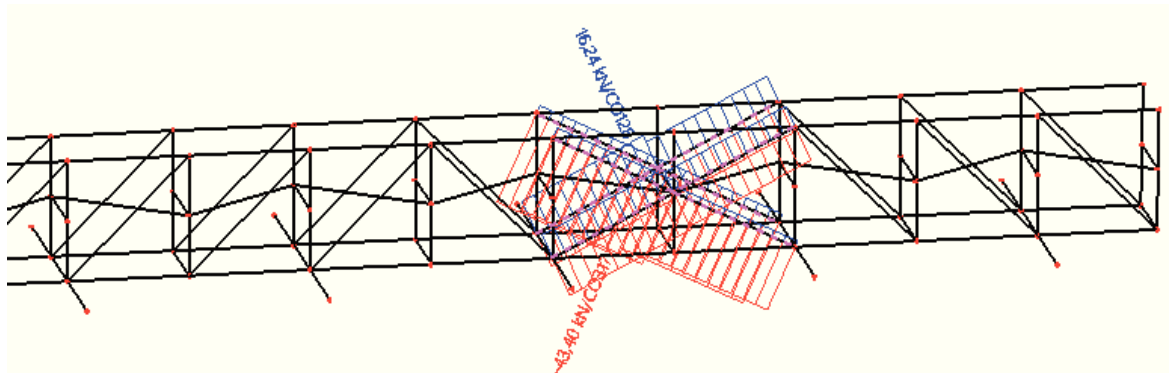
**vyhovuje**

### 3.4.3 Diagonály na koncích montážních dílců mostu

**Rozhodující kombinace zatížení:**

Kombinace rozhodující pro  $N_{max}$ :

$$N_{maxEd} = -43,4 kN$$



Obr. 35.: Maximální velikost normálových sil diagonál na koncích montážních dílců pole dopravníkového mostu

**Průřezové  
charakteristiky:**

**Průřez:** U 80

**Ocel:** S355

$$A = 1,10E+03 \text{ mm}^2$$

$$i_y = 3,10E+01 \text{ mm}$$

$$i_z = 1,33E+01 \text{ mm} \quad (\text{rozhoduje vzpěr k ose } z)$$

**Vzpěrná únosnost:**

Vzpěrné délky:  $L_{cr,y} = 1,458 \text{ m}$  (konzervativně systémová délka)

$$L_{cr,z} = 1,458 \quad m \quad (\text{konzervativně systémová délka})$$

$$L_{LT} = 1,458 \quad m \quad (\text{konzervativně systémová délka})$$

$$\varepsilon = 0,8136$$

Vzpěry z-z:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = 109,624 \quad \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 1,435$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 76,399$$

křivka vzpěrnosti:    $\alpha = 0,49$

$$\phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 1,832$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0,337$$

**Posudek na vzpěr v rovině z-z:**

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 131,436 \quad > \quad 43,4 kN$$

**vyhovuje**

### 3.5 Posudek svislice montážního spoje pole mostu o délce 15 metrů

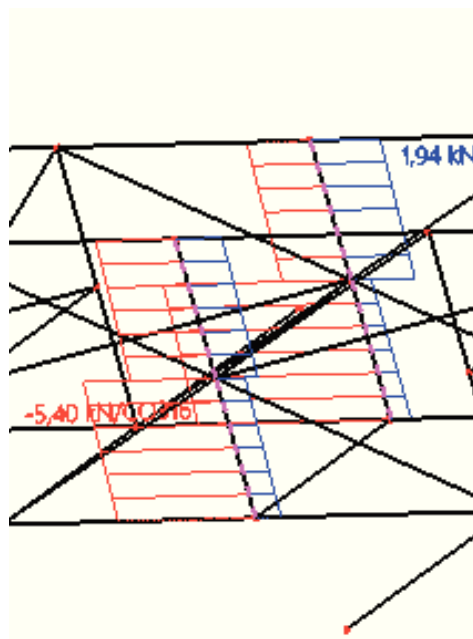
**Rozhodující kombinace zatížení:**

Konzervativně se uvažují maximální účinky ze všech kombinací:

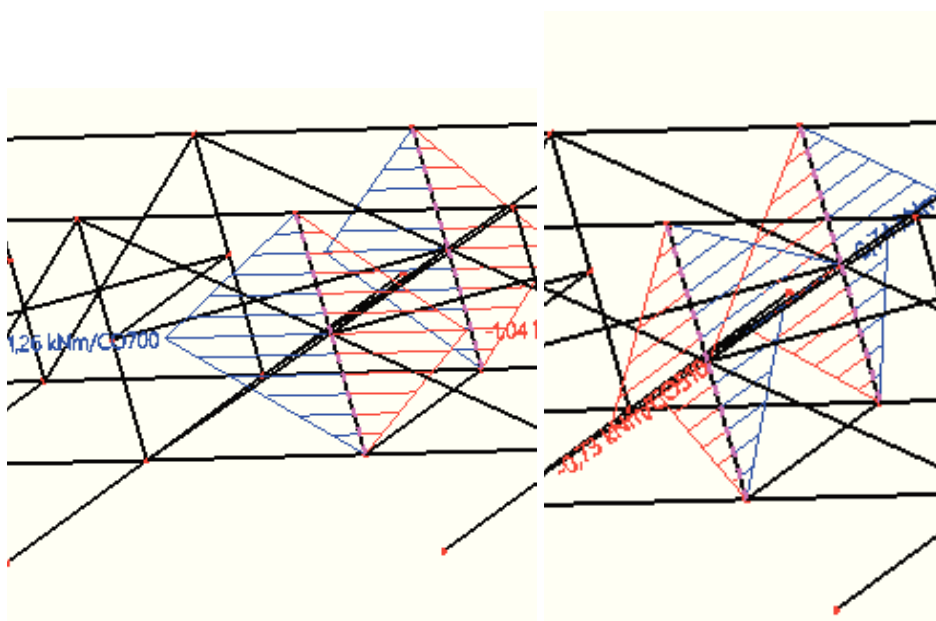
$$N_{\max,Ed} = -5,4 \quad kN$$

$$M_{\max,y,Ed} = 1,26 \quad kNm$$

$$M_{\max,z,Ed} = 0,75 \quad kNm$$



Obr. 36.: Maximální velikost normálových sil svislic montážního spoje pole dopravníku



Obr. 37.: Maximální velikost ohybových momentů  $M_y$  a  $M_z$  svislic montážního spoje pole dopravníku

**Průřezové charakteristiky P30-120, ocel S355J0:**

$$A = 120 \cdot 30 = 3600 \text{ mm}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot 30 \cdot 120^3 = 4320 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot 120 \cdot 30^3 = 270 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 34,6 \text{ mm}$$

$$i_z = 8,7 \text{ mm}$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot 30 \cdot 120^2 = 72 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot 120 \cdot 30^2 = 18 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_T = 108010^3 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 0$$

#### Vzpěrné délky:

- vzpěrná délka  $L_{cr,y} = 1250 \text{ mm}$

- vzpěrná délka  $L_{cr,z} = 625 \text{ mm}$

- klopící délka  $L_{LT} = 1250 \text{ mm}$

#### Vzpěr y-y:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1250}{34,6} = 36,13$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,40$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{36,13}{76,40} = 0,473$$

$\alpha = 0,49$  křivka vzpěrnosti c

$$\phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \left[ 1 + 0,473 \cdot (0,473 - 0,2) + 0,473^2 \right] = 0,68$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,68 + \sqrt{0,68^2 - 0,473^2}} = 0,856$$

#### Vzpěr z-z:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{625}{8,7} = 71,84$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,40$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{71,84}{76,40} = 0,94$$

$\alpha = 0,49$  křivka vzpěrnosti c

$$\phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \left[ 1 + 0,49 \cdot (0,94 - 0,2) + 0,94^2 \right] = 1,123$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,123 + \sqrt{1,123^2 - 0,842^2}} = 0,54$$

### Klopení:

$$k_z = 1,0, \quad k_w = 1,0$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = 0$$

$C_1 \cong 1,77$  (lineární průběh,  $\psi \cong 0$ ),  $C_2 \cong 0,0$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g)^2} - C_2 \zeta_g \right] = \frac{1,77}{1,0} \left[ \sqrt{1 + 0^2 + 0} - 0 \right] = 1,77$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 1,77 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 270 \cdot 10^3 \cdot 81000 \cdot 1080 \cdot 10^3}}{1250} =$$

$$= 313,3 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{72 \cdot 10^3 \cdot 355}{313,3 \cdot 10^6}} = 0,286$$

$\alpha_{LT} = 0,34$  křivka klopení b

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \left[ 1 + 0,34 \cdot (0,286 - 0,2) + 0,286^2 \right] = 0,556$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,556 + \sqrt{0,556^2 - 0,286^2}} = 0,968$$

### Posudek:

$$k_{zy} = k_{yz} = k_{yy} = k_{zz} = 1,0 \text{ (konzervativně pro daný případ)}$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 3600 \cdot 355 = 1278 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$M_{y,Rk} = W_y \cdot f_y = 72 \cdot 10^3 \cdot 355 = 25,6 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{z,Rk} = W_z \cdot f_y = 18 \cdot 10^3 \cdot 355 = 6,4 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} & \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\chi_z M_{z,Rk}} = \\ & \frac{5,4}{\frac{0,54 \cdot 1278}{1,0}} + 1,0 \cdot \frac{1,26}{\frac{0,968 \cdot 25,6}{1,0}} + 1,0 \cdot \frac{0,75}{\frac{6,4}{1,0}} = 0,002 + 0,051 + 0,117 = 0,17 \leq 1 \end{aligned}$$

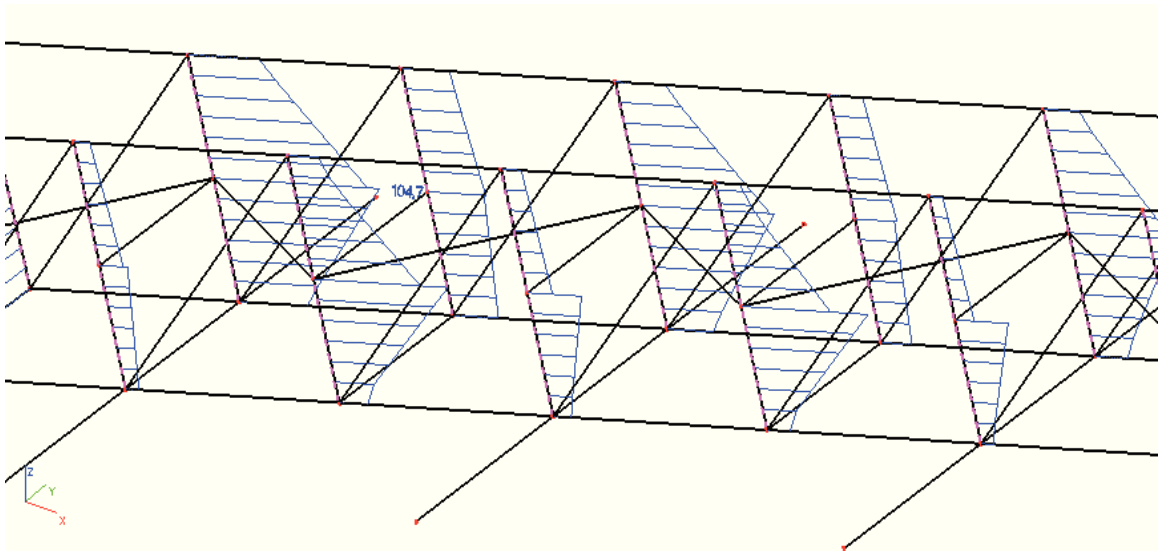
⇒ **Vyhoví**

### 3.6 Posudek svislic pole mostu o délce 15 metrů

Svislice jsou navrženy především jako prvky stabilizující horní tlačný pás příhradového mostu. Jsou součástí tuhého polorámu a ztužují celou konstrukci v prostoru. Vlivem uspořádání diagonál jsou všechny svislice namáhány převážně tahem. Vzhledem k využití profilu na zajištění stability horního pásu a ztužení konstrukce je profil málo využit na tah.

Pro posouzení postačuje velikost misesova napětí [6], ze kterého je patrné, že navržený profil jistě vyhoví.

**Navrženo U100, ocel S355J0:**  $\sigma_{\max,Ed} = 104,7 \text{ MPa} \ll f_{yd} = 355 \text{ MPa}$

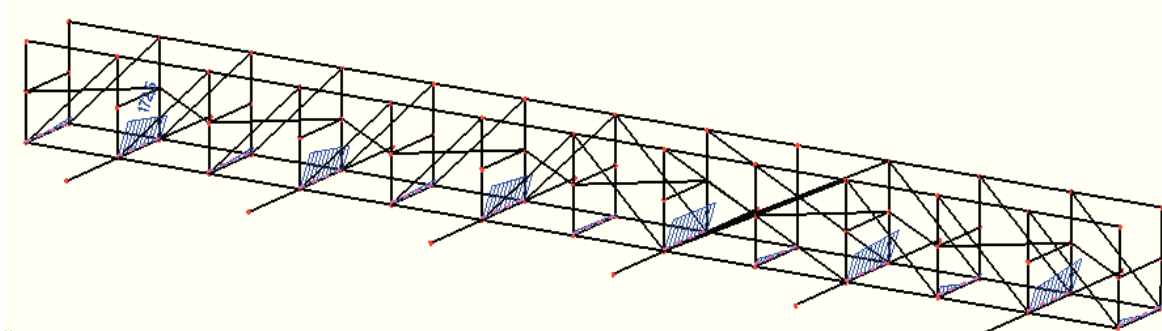


Obr. 38.: Maximální velikost misesova napětí svislic pole dopravníku

### 3.7 Posudek příčlí pole mostu o délce 15 metrů

Příčle jsou součástí tuhého polorámu a ztužují celou konstrukci v prostoru. Vzhledem k využití profilu na zajištění ztužení konstrukce je profil málo využit na vnitřní síly. Navíc je to lepší i z konstrukčního hlediska - svaření dvou stejně velkých profilů. Pro posouzení postačuje velikost misesova napětí, ze kterého je patrné, že navržený profil jistě vyhoví.

**Navrženo U140, ocel S355J0:**  $\sigma_{\max,Ed} = 1726 \text{ MPa} \ll f_{yd} = 355 \text{ MPa}$



Obr. 39.: Maximální velikost misesova napětí příčlí pole dopravníku

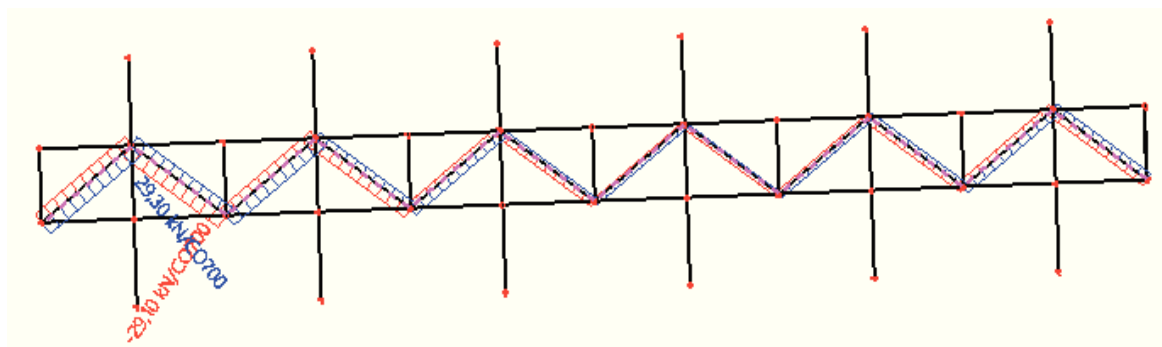
### 3.8 Posudek diagonál zavětrování pole mostu o délce 15 metrů

#### Rozhodující kombinace zatížení:

Kombinace rozhodující pro  $N_{\max}$ :

$$N_{\max,Ed} = -29,10 \text{ kN (tlak)}$$

$$N_{\max,Ed} = 29,3 \text{ kN (tah) ... jistě vyhoví}$$



Obr. 40.: Maximální velikost normálových sil diagonál zavětrování pole dopravníku

Vzpěrná délka:

$$L_{cr} = \sqrt{1250^2 + 1710^2} = 2118 \text{ mm (konzervativně systémová délka)}$$

### Průřezové charakteristiky U80, ocel S355J0:

$$A = 1100 \text{ mm}^2;$$

$$i_y = 31,04 \text{ mm};$$

$$i_z = 13,28 \text{ mm} \text{ (rozhoduje vzpěr k ose z)}$$

### Posudek na vzpěr v rovině z-z:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2118}{13,28} = 159,5$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,40$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{159,5}{76,40} = 2,088$$

$$\alpha = 0,49 \text{ křivka vzpěrnosti c}$$

$$\phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \left[ 1 + 0,49 \cdot (2,088 - 0,2) + 2,088^2 \right] = 3,142$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{3,142 + \sqrt{3,142^2 - 2,088^2}} = 0,182$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,182 \cdot 1100 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 71,1 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 29,1 \text{ kN}$$

⇒ **Vyhoví**

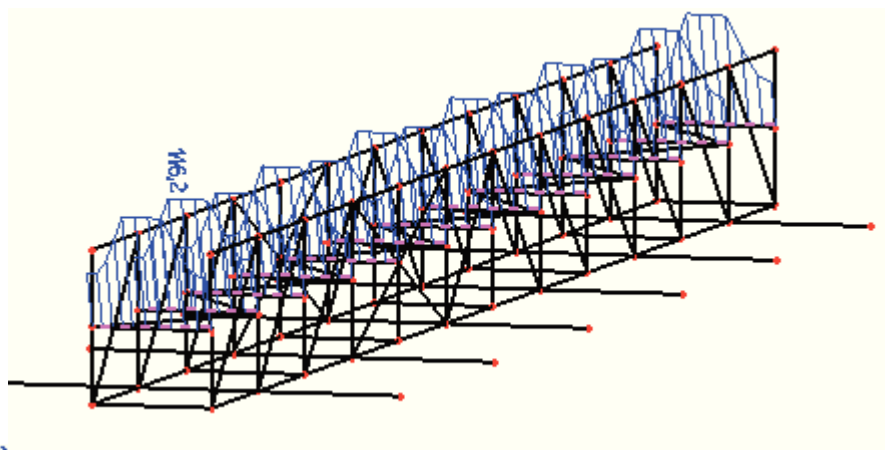
### 3.9 Posudek vzpěrek umístěných mezi svislicemi příhrady

#### Návrh U80, ocel S355J0

Z maximálních hodnot misesova napětí je zřejmé, že prvky jistě vyhoví.

$$\sigma_{\max Ed} = 116,2 \text{ MPa} \ll f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$





Obr. 41.: Maximální velikost misesova napětí vzpěrek pole dopravníku

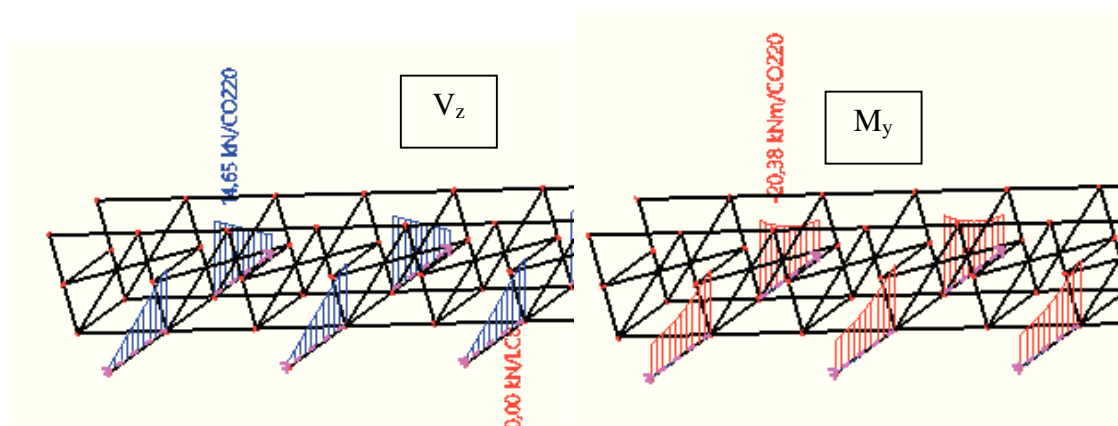
### 3.10 Posudek podpěrných konzol lávky pole mostu o délce 15 metrů

#### Rozhodující kombinace zatížení:

Kombinace rozhodující pro  $V_{\max}$  i  $M_{\max}$ :

$$V_{\max Ed} = 14,65 \text{ kN}$$

$$M_{y, \max Ed} = 20,38 \text{ kNm}$$



Obr. 42.: Maximální velikost posouvajících sil  $V_z$  a ohybových momentů  $M_y$  podpěrných konzol lávky

#### Průřezové charakteristiky IPE160, ocel S235J0:

$$W_{pl,y} = 12390 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A_{vz} = 0,966 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

**Smyk:**

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{966 \cdot \frac{235}{\sqrt{3}}}{1,0} = 131,1 \cdot 10^3 \text{ N} \geq V_{Ed} = 14,65 \text{ kN}$$

⇒ **Vyhoví**

**Klopení:**

$$L = 1200 \text{ mm}$$

$$M_{cr} \cong 63,9 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Určeno programem LT\_BEAM

- stanoveno pro délku  $L = 1,2m$
- levá podpora – všechny parametry uložení zavedeny jako „fixed“ kromě deplanace
- pravá podpora – všechny parametry uložení zavedeny jako „free“
- zavedeno zatížení stálé a užité

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{123,9 \cdot 10^3 \cdot 235}{63,9 \cdot 10^6}} = 0,675$$

Profil IPE 160 ...  $h / b = 160 / 82 = 1,95 \leq 2$  křivka klopení a

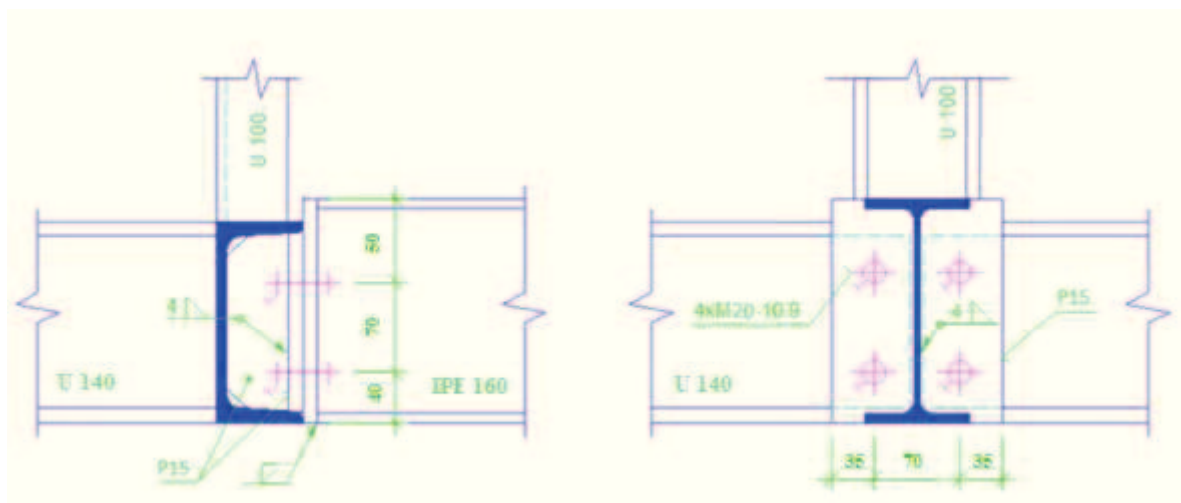
$$\alpha_{LT} = 0,21$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \left[ 1 + 0,21 \cdot (0,675 - 0,2) + 0,675^2 \right] = 0,778$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,778 + \sqrt{0,778^2 - 0,675^2}} = 0,858$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_{pl,y} \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,858 \cdot 123,9 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0} = 25,0 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \geq M_{Ed} = 20,38 \text{ kNm}$$

⇒ **Vyhoví**

**Posudek šroubového spoje konzoly:**

Obr. 43.: Schéma přípoje konzoly v první variantě

Vzhledem k problematickému řešení spoje IPE 160 k U 140 (viz. schéma přípoje konzoly), doporučuji zvětšit profil dolní pásnice a příčníku mezi dolními pásnicemi z U 140 na U 160. Ve statickém výpočtu jsou uvedeny obě možnosti řešení spoje.

**Momentová únosnost šroubového spoje:**

Geometrické charakteristiky přípoje IPE160 na čelní desku:

$$m = \frac{(w - t_{wb} - 2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot a_w)}{2} = \frac{(70 - 5,0 - 2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 4)}{2} = 28,0 \text{ mm}$$

$$m_2 = e_1 - t_{fb} - 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot a_{ff} = 40 - 7,4 - 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 4 = 28,07 \text{ mm}$$

$$e = 35 \text{ mm}$$

$$n = \min(e; 1,25m) = \min(35; 1,25 \cdot 28,0 = 38) = 35,0 \text{ mm}$$

Účinná délka náhradního T profilu (předpokládá se porušení bez páčení):

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{28,0}{28,0+35} = 0,44$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{28,07}{28+35} = 0,45$$

$$\alpha \cong 6,28$$

$$L_{eff,1} = L_{eff,2} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2\pi m = 2 \cdot \pi \cdot 28,0 = 176 \text{ mm} \\ \alpha m = 6,28 \cdot 28,0 = 176 \text{ mm} \end{array} \right\} = 176 \text{ mm}$$

Únosnost jednoho šroubu v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 245 \cdot 1000}{1,25} = 176,4 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Způsob porušení 1:

$$M_{pl,1Rd} = \frac{0,25 L_{eff,1} t^2 f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 176 \cdot 15^2 \cdot 235}{1,0} = 2,327 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 2,327 \cdot 10^6}{28,0} \cdot 10^{-3} = 332,357 \text{ kN}$$

Způsob porušení 2:

$$M_{pl,2Rd} = \frac{0,25 L_{eff,2} t^2 f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 176 \cdot 15^2 \cdot 235}{1,0} = 2,327 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + 2 n F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 2,327 \cdot 10^6 + 2 \cdot 35 \cdot 176,4 \cdot 10^3}{28,0 + 35,0} \cdot 10^{-3} = 196,07 \text{ kN}$$

Způsob porušení 3:

$$F_{T,3Rd} = 2 F_{t,Rd} = 2 \cdot 176,4 = 352,8 \text{ kN}$$

Únosnost T průřezu se určí jako nejmenší z únosností pro jednotlivé způsoby porušení:

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(332,357; 196,07; 352,8) = 196,07 \text{ kN}$$

**Posudek:**

Rameno vnitřních sil:

$$h = 107 \text{ mm}$$

Momentová únosnost:

$$M_{Rd} = F_{T,Rd} h = 196,07 \cdot 0,107 = 20,98 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 20,38 \text{ kNm}$$

**Vyhoví**

Pozn.: Čelní deska navařená mezi pásnice U profilu jistě také vyhoví.

Smyková únosnost šroubového spoje:

**Únosnost spoje ve střihu:**

$$F_{v,Rd} = n \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,5 \cdot 1000 \cdot 245}{1,25} \cdot 10^{-3} = 196,0 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 14,65 \text{ kN}$$

**Vyhoví**

**Únosnost spoje v otláčení:**

$$k_1 = \min \left[ 2,5 \right. \\ \left. 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{35}{22} - 1,7 = 2,76 \right] = 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left[ 1,0 \right. \\ \left. \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{1000}{360} = 2,78 \right. \\ \left. \frac{e_1}{3d_0} = \frac{40}{3 \cdot 22} = 0,61 \right. \\ \left. \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} = \frac{70}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} = 0,81 \right] = 0,61$$

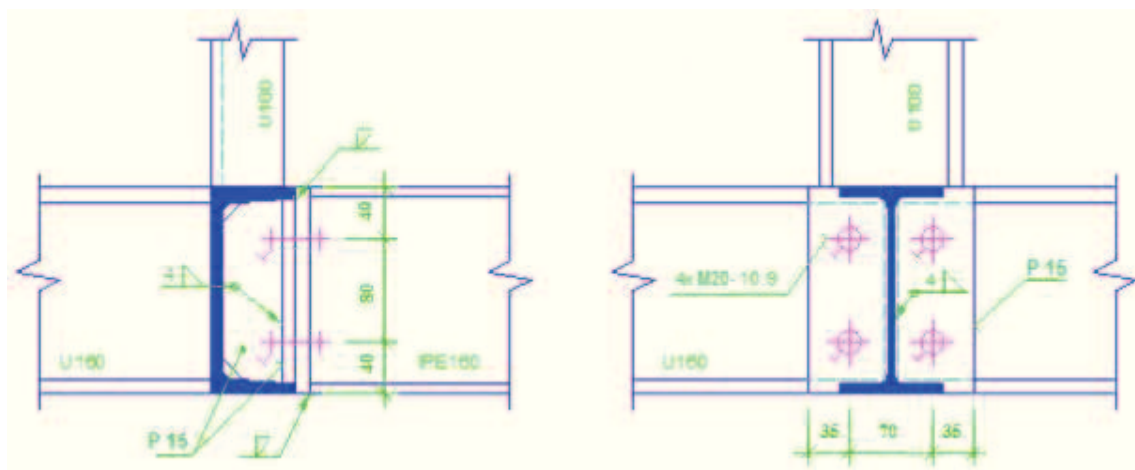
$$F_{b,Rd} = n \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{2,5 \cdot 0,61 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 15}{1,25} \cdot 10^{-3} = 263,52 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 14,65 \text{ kN}$$

**Vyhoví**

Svarový přípoj konzoly k čelní desce:

Navržena kombinace koutového svaru  $a = 4 \text{ mm}$  a tupého polovičního V svaru.

**Jistě vyhoví**

**Posudek šroubového spoje konzoly - druhá varianta (doporučená, ale dražší)**

Obr. 44.: Schéma přípoje konzoly ve druhé variantě

**Momentová únosnost šroubového spoje:**

Geometrické charakteristiky přípoje IPE160 na čelní desku:

$$m = \frac{(w - t_{wb} - 2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot a_w)}{2} = \frac{(70 - 5,0 - 2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 4)}{2} = 28,0 \text{ mm}$$

$$m_2 = e_1 - t_{fb} - 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot a_{if} = 40 - 7,4 - 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 4 = 28,07 \text{ mm}$$

$$e = 35 \text{ mm}$$

$$n = \min(e; 1,25m) = \min(35; 1,25 \cdot 28,0 = 38) = 35,0 \text{ mm}$$

Účinná délka náhradního T profilu (předpokládá se porušení bez páčení):

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{28,0}{28,0+35} = 0,44$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{28,07}{28+35} = 0,45$$

$$\alpha \cong 6,28$$

$$L_{eff,1} = L_{eff,2} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2\pi m = 2 \cdot \pi \cdot 28,0 = 176 \text{ mm} \\ \alpha m = 6,28 \cdot 28,0 = 176 \text{ mm} \end{array} \right\} = 176 \text{ mm}$$

Únosnost jednoho šroubu v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 245 \cdot 1000}{1,25} = 176,4 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Způsob porušení 1:

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 L_{eff,1} t^2 f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 176 \cdot 15^2 \cdot 235}{1,0} = 2,327 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 2,327 \cdot 10^6}{28,0} \cdot 10^{-3} = 332,357 \text{ kN}$$

Způsob porušení 2:

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 L_{eff,2} t^2 f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 176 \cdot 15^2 \cdot 235}{1,0} = 2,327 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + 2 n F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 2,327 \cdot 10^6 + 2 \cdot 35 \cdot 176,4 \cdot 10^3}{28,0 + 35,0} \cdot 10^{-3} = 196,07 \text{ kN}$$

Způsob porušení 3:

$$F_{T,3,Rd} = 2 F_{t,Rd} = 2 \cdot 176,4 = 352,8 \text{ kN}$$

Únosnost T průřezu se určí jako nejmenší z únosností pro jednotlivé způsoby porušení:

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(332,357; 196,07; 352,8) = 196,07 \text{ kN}$$

**Posudek:**

Rameno vnitřních sil:

$$h = 114 \text{ mm}$$

Momentová únosnost:

$$M_{Rd} = F_{T,Rd} h = 196,07 \cdot 0,114 = 22,35 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 20,38 \text{ kNm}$$

**Vyhoví**

Pozn.: Čelní deska navařená mezi pásnice U profilu jistě také vyhoví.

Smyková únosnost šroubového spoje:

**Únosnost spoje ve stříhu:**

$$F_{v,Rd} = n \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,5 \cdot 1000 \cdot 245}{1,25} \cdot 10^{-3} = 196,0 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 14,65 \text{ kN}$$

**Vyhoví**

**Únosnost spoje v otláčení:**

$$k_1 = \min \left[ \begin{array}{l} 2,5 \\ 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{35}{22} - 1,7 = 2,76 \end{array} \right] = 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left[ \begin{array}{l} 1,0 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{1000}{360} = 2,78 \\ \frac{e_1}{3d_0} = \frac{40}{3 \cdot 22} = 0,61 \\ \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} = \frac{70}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} = 0,81 \end{array} \right] = 0,61$$

$$F_{b,Rd} = n \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{2,5 \cdot 0,61 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 15}{1,25} \cdot 10^{-3} = 263,52 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 14,65 \text{ kN}$$

**Vyhoví**

Svarový přípoj konzoly k čelní desce:

Navržena kombinace koutového svaru a = 4 mm a tupého polovičního V svaru.

**Jistě vyhoví**



*Obr. 45.: Skutečné provedení navrhovaného spoje (podobného)*





Vnitřní síly v dolním pásu příhradového nosníku:

$$N_{Ed,max} = 29364 \text{ kN}$$

$$M_{max,y,Ed} = 4,42 \text{ kNm}$$

Navržena svislice: **P30-120, ocel S355**

- nutné posoudit P30 na lamelární praskavost (zkouška ultrazvukem) [9]

Šrouby: **M24 – 10.9 (předepnuté)**

Rozměry T průřezu pro dolní šroub (stanoveno analogicky jako pro čelní desku v ohybu):

$$m_x = 50 \text{ mm}$$

$$m = 50 - 0,8 a_w \sqrt{2} = 50 - 0,8 \cdot 5 \cdot \sqrt{2} = 44,3 \text{ mm}$$

$$b_p = 120 \text{ mm}$$

Účinná délka:  $L_{eff} \cong d_0 + 2 \cdot m_x = 26 + 2 \cdot 44,3 = 114,6 \text{ mm} \leq b = 120 \text{ mm}$   
(předpokládá se roznos od kraje otvoru pod úhlem 45°)

Únosnost přechínajícího plechu v ohybu:

$$M_{pl,1Rd} = \frac{0,25 L_{eff,1} t^2 f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 114,6 \cdot 30^2 \cdot 355}{1,0} = 9,15 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{M_{pl,1,Rd}}{m_x} = \frac{9,15 \cdot 10^6}{44,3} \cdot 10^{-3} = 206,629 \text{ kN}$$

Únosnost jednoho šroubu v tahu:

$$F_{T,3Rd} = \frac{0,9 A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 353 \cdot 1000}{1,25} = 254,1 \cdot 10^3 \text{ N} \geq F_{T,1,Rd}$$

... rozhoduje ohyb plechu P30

Únosnost trojice šroubů:

Konzervativně se předpokládá, že únosnost horních dvou šroubů bude stejná jako únosnost přechínajícího plechu v ohybu.

$$F_{T,Rd} = 3 \cdot F_{T,1,Rd} = 3 \cdot 206,629 = 619,9 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 29364 \text{ kN} \quad \dots \textbf{Vyhoví}$$

(dostatečná rezerva i na přenos ohybového momentu v dolním páse mostu)

Další šrouby jsou navrženy jako konstrukční, maximální doporučená vzdálenost šroubů je podle tabulky 3.3 v normě [8]  $p_{1,max} = 200 \text{ mm}$ .

**Posudek svaru u dolního pásu:**

Vnitřní síly:

$$N_{Ed,max} = 21014 \text{ kN}$$

$$M_{max,y,Ed} = 4,48 \text{ kNm}$$

Navržen koutový svar  $a = 5 \text{ mm}$ .

Průřezové charakteristiky svarového obrazce:

$$I_{y,w} \cong 10,34 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$A_w = 2825 \text{ mm}^2$$



Napětí v nejvíce namáhané části svarového obrazce:

$$\sigma_w = \frac{M_{max,y,Ed}}{I_{y,w}} \cdot \frac{h}{2} + \frac{N_{max,Ed}}{A_w} = \frac{4,48 \cdot 10^6}{10,34 \cdot 10^6} \cdot \frac{120}{2} + \frac{210,14 \cdot 10^3}{2825} = 26 + 74 = 100,0 \text{ MPa}$$

Posudek koutového svaru:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{510 / \sqrt{3}}{0,9 \cdot 1,25} = 261,7 \text{ MPa} \geq \sigma_w = 100 \text{ MPa}$$

⇒ **Vyhoví****Posudek svaru u horního pásu:**

Vnitřní síly:

$$N_{Ed,max} = 33824 \text{ kN}$$

$$M_{max,y,Ed} = 1,76 \text{ kNm}$$

Navržen koutový svar  $a = 5 \text{ mm}$ .

Průřezové charakteristiky svarového obrazce:

$$I_{y,w} \cong 20,47 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$A_w = 3415 \text{ mm}^2$$



Napětí v nejvíce namáhané části svarového obrazce:

$$\sigma_w = \frac{M_{\max,y,Ed}}{I_{y,w}} \cdot \frac{h}{2} + \frac{N_{\max,Ed}}{A_w} = \frac{1,76 \cdot 10^6}{20,47 \cdot 10^6} \cdot \frac{200}{2} + \frac{338,24 \cdot 10^3}{3415} = 8,6 + 99,1 = 107,65 \text{ MPa}$$

Posudek koutového svaru:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{510 / \sqrt{3}}{0,9 \cdot 1,25} = 261,7 \text{ MPa} \geq \sigma_w = 107,65 \text{ MPa}$$

⇒ **Vyhoví**



Obr. 47.: Skutečné provedení řešeného spoje (podobného)

### 3.12 Svarové přípoje diagonálních prutů příhrad polí mostu o délce 15 metrů

Přípoje jsou navrženy jako svařované bez styčnickových plechů.

Uzavřený svarový obrazec je z **koutového svaru**  $a = 4 \text{ mm}$  (u líčujících hran je možné koutový svat nahradit tupým 1/2V svarem).

#### Únosnost svaru připojujícího profil U80

Konzervativně spočteno pro kolmé napojení profilu.

Délka svaru (obvod U80):

$$L_{we} = 278 \text{ mm}$$

Návrhová smyková pevnost svaru:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{510 / \sqrt{3}}{0,9 \cdot 1,25} = 261,7 \text{ MPa}$$

Únosnost svaru:

$$F_{w,Rd} = a L_{we} f_{vw,d} = 4 \cdot 278 \cdot 261,7 \cdot 10^{-3} = 291,01 \text{ kN}$$

Maximální normálová síla v diagonálních prutech pole mostu:

$$N_{Ed} = 149,17 \text{ kN} \leq F_{w,Rd} = 291,01 \text{ kN}$$

#### Vyhoví

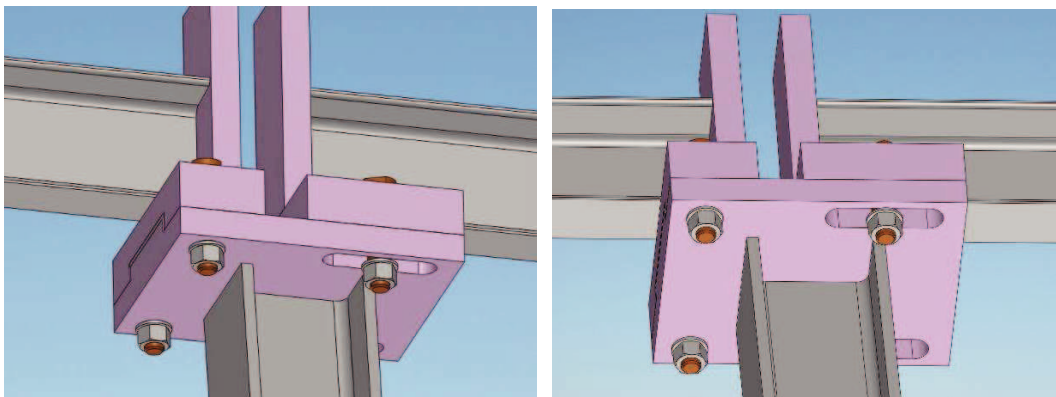
Kombinaci koutového svaru  $a = 4 \text{ mm}$  s tupým 1/2V svarem lze rovněž použít pro přípoje svislic a příčlích příhradového mostu z profilů U80 a U100.

... jistě vyhoví

### 3.13 Ložiska pole mostu

#### Schéma ložiska nad pevným bodem

Ložisko nad kyvnou stojkou bude bez oválného otvoru.



*Obr. 48.: Detail řešení ložiska pole dopravníkového mostu*



*Obr. 49.: Provedení ložiska stejného typu na skutečné konstrukci*



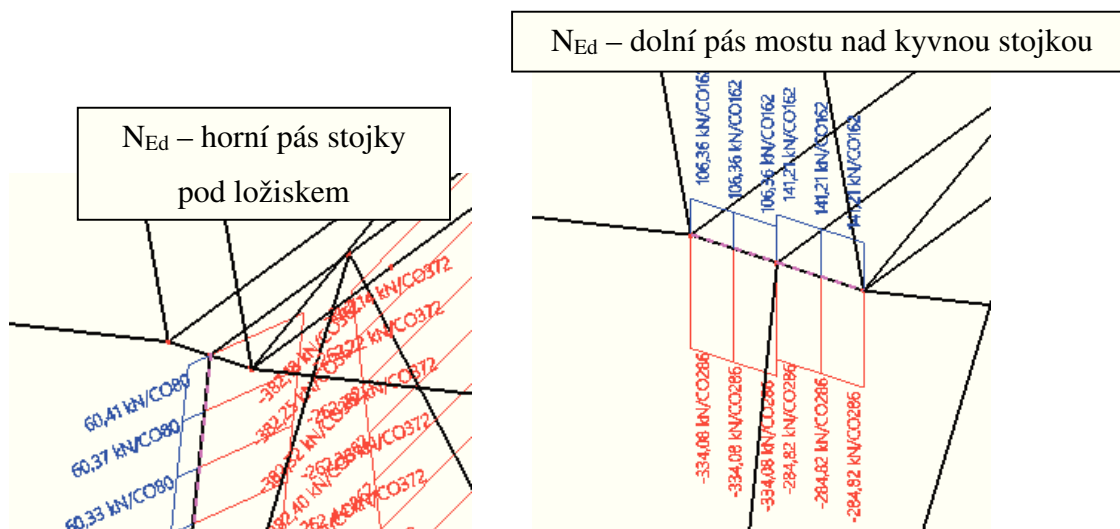
**Posudek šroubů:**Návrh šroubů: **4 x M24-10.9**

Konzervativně posouzeno na současné působení maximální tahové síly a maximální podélné smykové síly.

Vnitřní síly:

$$N_{\max, Ed} = 60,4 / 2 = 30,2 \text{ kN} \text{ (tahová síla na dvojici šroubů)}$$

$$H_{\max, x, Ed} = 334,08 \text{ kN} \text{ (smyková síla na dvojici šroubů)}$$



Obr. 50.: Maximální vnitřní síly působící na šrouby ložiska

Únosnost dvou šroubů ve střihu:

Střihová rovina nesmí procházet závitem šroubu.

$$F_{v, Rd} = 2 \cdot \frac{0,6 f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 1000 \cdot 452}{1,25} \cdot 10^{-3} = 433,9 \text{ kN} \geq H_{\max, x, Ed} = 334,08 \text{ kN}$$

⇒ VYHOVUJE

Únosnost dvou šroubů v otlačení:

Předepsané limitní hodnoty pro konstrukční řešení:

minimální tloušťka úložné desky:  $t = 20 \text{ mm}$

minimální vzdálenost otvoru od konce desky v podélném směru:  $e_1 = 60 \text{ mm}$

minimální vzdálenost otvoru od konce desky v příčném směru:  $e_2 = 40 \text{ mm}$

průměr otvoru pro šroub M24:  $d_0 = 26 \text{ mm}$

$$\alpha = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{60}{3 \cdot 26} = 0,769$$

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{2,5 \cdot 0,769 \cdot 235 \cdot 24 \cdot 20}{1,25} \cdot 10^{-3} = 433,7 \text{ kN} \geq H_{\max,x,Ed} = 334,08 \text{ kN}$$

⇒ VYHOVUJE

Únosnost dvou šroubů v tahu:

$$F_{t,Rd} = 2 \cdot \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot 1000 \cdot 353}{1,25} \cdot 10^{-3} = 508,3 \text{ kN} \geq N_{\max,Ed} = 30,2 \text{ kN}$$

⇒ VYHOVUJE

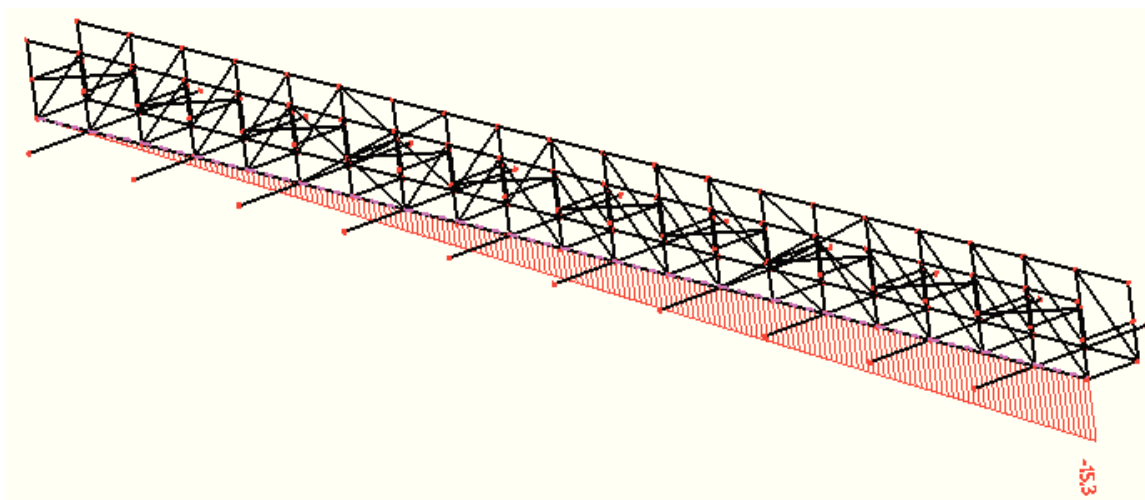
Kombinace stříhu a tahu:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} = \frac{334,08}{433,7} + \frac{30,2}{508,3} = 0,77 + 0,06 = 0,83 \leq 1,0$$

⇒ VYHOVUJE

### Návrh oválného otvoru:

Oválný otvor je konzervativně navržen pro všechny varianty polí dopravníkového mostu stejně. Konkrétně je navržen na nejdelší variantu, tedy pole mostu o délce 25 m. Délka oválného otvoru se odvíjí od množství polí v jednom dilatačním celku. Pro dvě pole o délkách 25 m je posun roven 30,6 mm. Pro jedno pole je tedy posun 15,3 mm.



Obr. 51.: Maximální velikost vodorovného posunu  $u_x$  od ochlazení

Na jednom poli mostu vyvodí ochlazení o  $-50\text{ °C}$  posun  $u_x = 15,3 \text{ mm}$ .

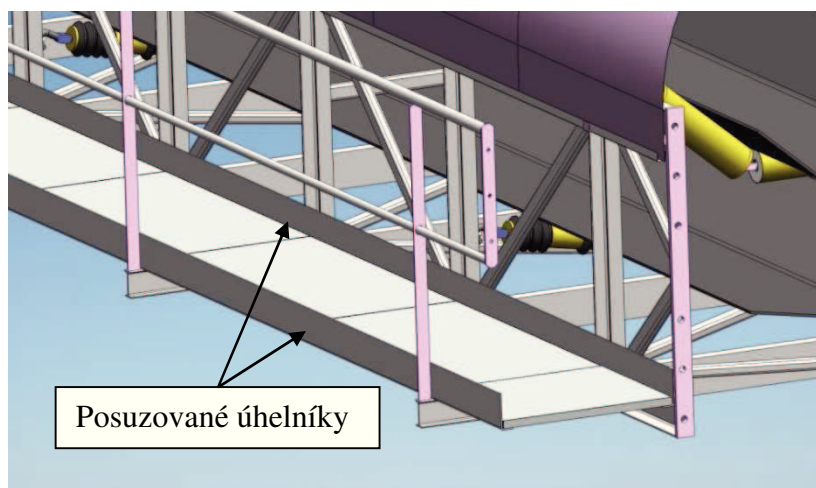
Celková šířka oválného otvoru pro dilatační celek se **2 poli**:

$$d_{0,x} = d_0 + 2 \cdot u_x = 26 + 2 \cdot 15,3 = 56,6 \text{ mm} \quad (\text{navrženo } 60 \text{ mm})$$



### 3.14 Podélné nosníky pod rošty

Řešení předpokládá, že konzoly připojené k dolnímu pásu mostu budou umístěny pouze v každém druhém styčnicku příhrady. Na konzolách budou uloženy v podélném směru úhelníky sloužící k uložení odporově svařovaných roštů. V následujícím bodě statického výpočtu je proveden návrh a posouzení nosníků pod rošty.



*Obr. 52.: Ukázka provedení a umístění lávky níže posuzovaných úhelníků*



*Obr. 53.: Ukázka provedení lávky na skutečné konstrukci*

### **Zatížení na nosník pod rošty:**

#### Tíha roštů:

- odporově svařovaný rošt SP 240-34/38-3 (Lichtgitter CZ):  $m = 27,2 \text{ kg/m}^2$

- zatížení na nosník:  $g_k = 27,2 \cdot 0,4m = 10,9 \text{ kg/m} = 0,11 \text{ kN/m}$

- kroutící moment:  $m_{g,k} = g_k \cdot 0,03 = 0,11 \cdot 0,03 = 0,003 \text{ kN/m}$

(30 m ... vzdálenost teoretického místa uložení roštu od středu smyku)

#### Užitné zatížení:

- předepsané zatížení na plošině:  $q = 200 \text{ kg/m}^2$

- zatížení na nosník:  $q_k = 2,0 \cdot 0,4m = 0,80 \text{ kN/m}$

- kroutící moment:  $m_{q,k} = q_k \cdot 0,03 = 0,80 \cdot 0,03 = 0,024 \text{ kN/m}$

### **Návrh:**

**L profil nerovnoramenný L140/50 – tl. 6 mm, ocel S235J0**

Průřez je třídy 4.

Průřezové charakteristiky plného průřezu:

$$A = 1083 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 2,213 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 1,693 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$z_T = 55,0 \text{ mm}$$

$$y_T = 40,9 \text{ mm}$$

$$I_w \approx 0,0 \text{ mm}^6$$

$$I_T = 1,299 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 2,604 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

### **Určení efektivního průřezu:**

$$\psi \approx -\frac{z_T}{h - z_T} = -\frac{55,0}{140 - 55,0} = -0,647$$

$$k_\sigma = 0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2 = 0,57 - 0,21 \cdot (-0,647) + 0,07 \cdot (-0,647)^2 = 0,735$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}} = \frac{140/6}{28,4 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{0,735}} = 0,958$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,958 - 0,188}{0,958^2} = 0,84$$

$$b_{eff} = \rho b_c = \rho (h - z_T) = 0,84 \cdot (140 - 55,0) = 71,4 \text{ mm}$$

$$\text{Výška efektivního průřezu: } h_{eff} = z_T + b_{eff} = 55 + 71,4 = 126,4 \text{ mm}$$

Průřezové charakteristiky efektivního průřezu:

$$A_{eff} = 1001 \text{ mm}^2$$

$$I_{y,eff} = 1,673 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{z,eff} = 1,657 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$z_{T,eff} = 48,7 \text{ mm}$$

$$y_{T,eff} = 40,4 \text{ mm}$$

$$I_{w,eff} \approx 0,0 \text{ mm}^6$$

$$I_{T,eff} = 1,202 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,eff} = 2,151 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$W_{z,eff,max} = 1,726 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

**Posudek MSÚ:**

Vnitřní síly:

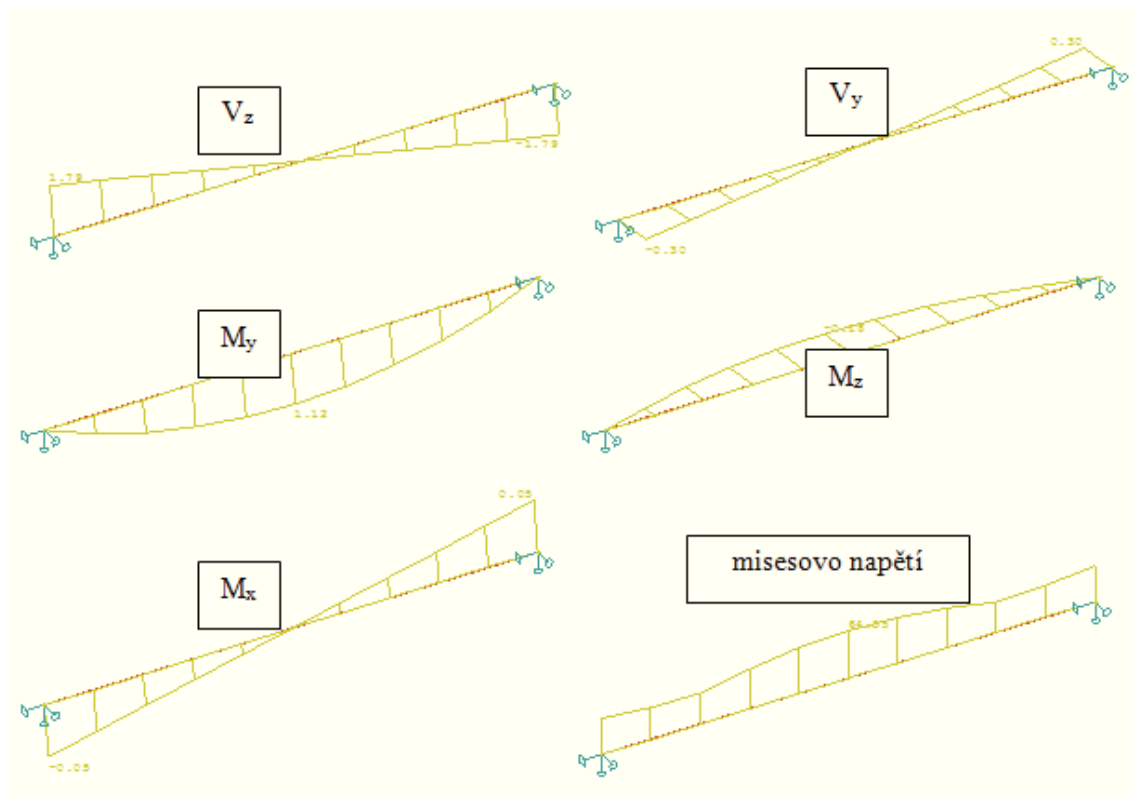
$$V_{z,Ed} = 1,79 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,30 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 1,12 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,18 \text{ kNm}$$

$$M_{x,Ed} = 0,05 \text{ kNm}$$



Obr. 54.: Maximální vnitřní síly působící na nosník pod rošty

MSÚ – podmínka plasticity:

$$\sigma_{mises,Ed} = 64,6 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1,0} = 235 \text{ MPa}$$

⇒ VYHOVUJE

MSÚ – ohyb s klopením:

Součinitel klopení je konzervativně spočten pro efektivní průřez.

$$k_z = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_{w,eff}}{GI_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 2500} \sqrt{\frac{210000 \cdot 0,0}{81000 \cdot 1,299^4}} = 0,0$$

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_{z,eff}}{GI_t}} \approx 0,0 \text{ (zatížení působí přibližně ve středu smyku)}$$

$$C_1 = 1,13$$

$$C_2 = 0,33 \text{ (konzervativně)}$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g)^2} - C_2 \zeta_g \right] = \frac{1,13}{1,0} \left[ \sqrt{1 + 0 + 0} - 0 \right] = 1,13$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_{z,eff} GI_{t,eff}}}{L} = \\ &= 1,13 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 1,657 \cdot 10^5 \cdot 81000 \cdot 1,202 \cdot 10^4}}{2500} = 8,3 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kritický ohybový moment byl určen programem LTBeam:

$$M_{cr} = 6,5 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Žádný z výše uvedených výpočtů  $M_{cr}$  není explicitně určen pro nesymetrické průřezy, do dalšího výpočtu se konzervativně uvažuje hodnota:

$$M_{cr} \approx \frac{M_{cr,min}}{2} = \frac{6,5 \cdot 10^6}{2} = 3,25 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{eff,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,151 \cdot 10^4 \cdot 235}{3,25 \cdot 10^6}} = 1,247$$

Profil L ... křivka klopení d

$$\alpha_{LT} = 0,76$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \left[ 1 + 0,76 \cdot (1,247 - 0,2) + 1,247^2 \right] = 1,675$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,675 + \sqrt{1,675^2 - 1,247^2}} = 0,358$$

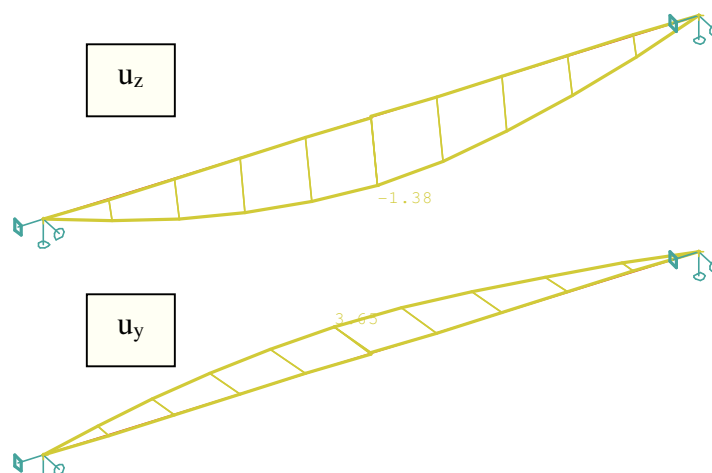
$$M_{y,Rk} = W_{eff,y} \cdot f_y = 2,151 \cdot 10^4 \cdot 235 = 5,1 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{eff,z,max} \cdot f_y = 1,726 \cdot 10^4 \cdot 235 = 4,1 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{1,12}{0,358 \cdot 5,1} + \frac{0,18}{4,1} = 0,613 + 0,043 = 0,656 \leq 1$$

⇒ VYHOVUJE

MSP – Průhyb:



Obr. 55.: Maximální průhyby nosníku pod rošty

Svislý průhyb od všech zatížení:

$$\delta_{\max,z} = 1,4 \text{ mm} \leq \frac{L}{250} = \frac{2500}{250} = 10 \text{ mm}$$

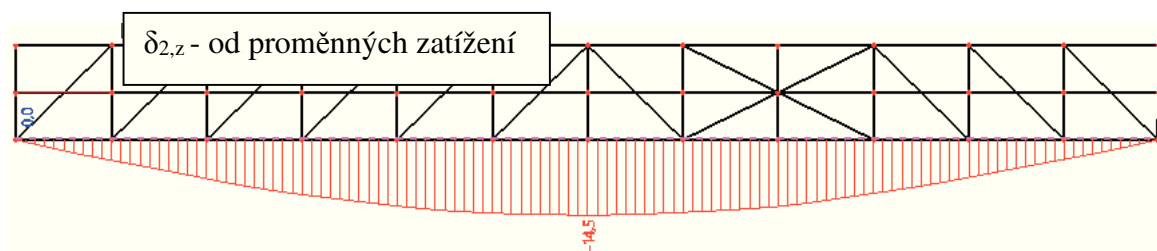
⇒ VYHOVUJE

Vodorovný průhyb od všech zatížení:

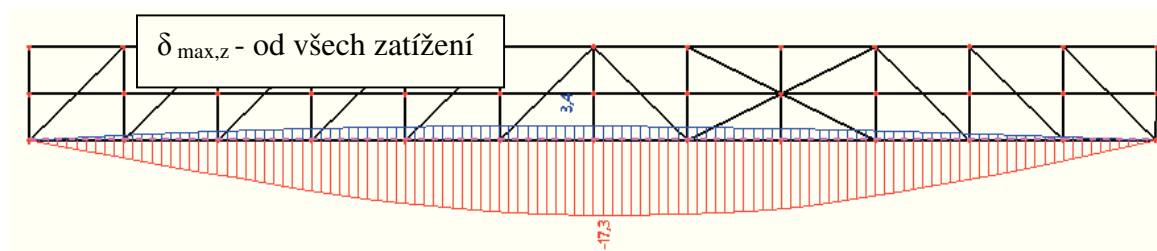
$$\delta_{\max,y} = 3,7 \text{ mm} \leq \frac{L}{250} = 10 \text{ mm}$$

⇒ VYHOVUJE

### 3.15 Celkový průhyb pole mostu o délce 15 metrů



Obr. 56.: Maximální svislý průhyb pole mostu od proměnných zatížení



Obr. 57.: Maximální svislý průhyb pole mostu od všech zatížení

Svislý průhyb od proměnných zatížení:

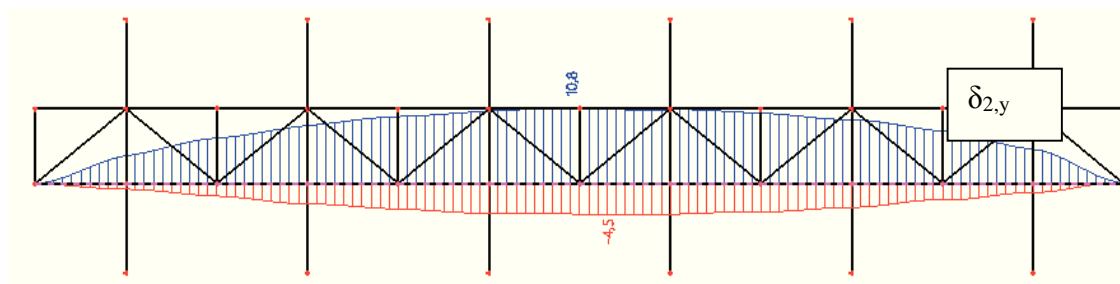
$$\delta_{2,z} = 14,5 \text{ mm} = \frac{L}{1034} \leq \frac{L}{250}$$

⇒ VYHOVUJE

Svislý průhyb od všech zatížení:

$$\delta_{\max,z} = 17,3 \text{ mm} = \frac{L}{867} \leq \frac{L}{200}$$

⇒ VYHOVUJE



Obr. 58.: Maximální vodorovný průhyb pole mostu od proměnných zatížení

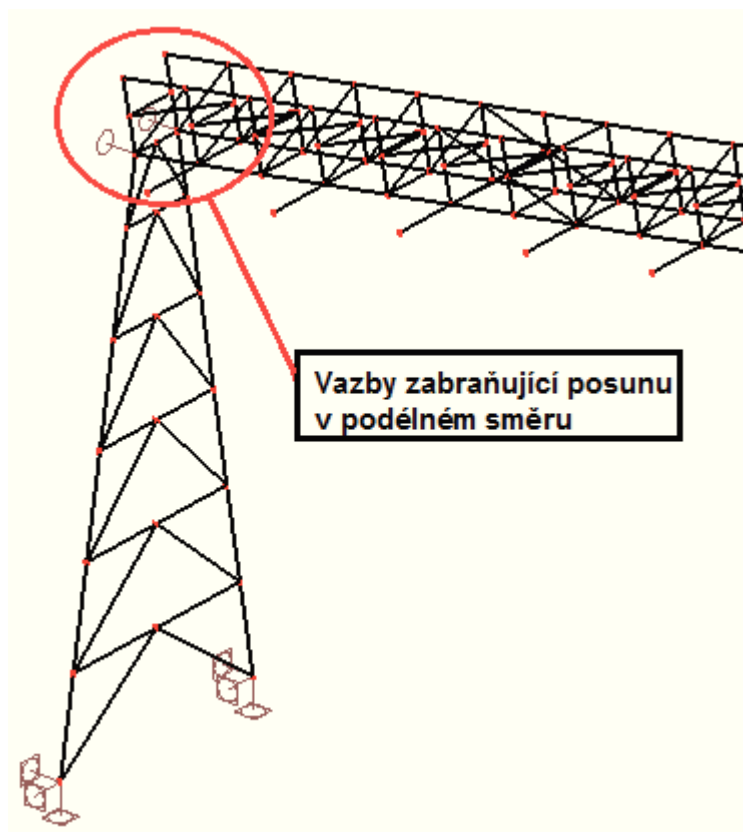
Vodorovný průhyb od proměnných zatížení:

$$\delta_{2,y} = 10,8 \text{ mm} = \frac{L}{1389} \leq \frac{L}{250}$$

⇒ VYHOVUJE

#### 4 Příhradové kyvné stojky o výšce 10 metrů

Příhradové kyvné stojky tvořící podpěry polí dopravníkového mostu jsou vždy navrženy tak, že na ně působí zatížení z nejdelší varianty pole mostu (25 m dlouhé) a další klimatická a jiná zatížení [1-4, 10]. Pro všechny navrhované varianty jsou pak zajištěny stejné podmínky a je možné je vzájemně kombinovat. V 3D modelu konstrukce je zajištěna statická určitost konstrukce pomocí vazeb umístěných v místě napojení podpěry k poli dopravníkového mostu (Obr. 59). Další navrhované varianty podpěr jsou uvedeny v přílohách 4 a 5. Všechny varianty podpěr jsou navrženy z oceli S235J0 a všechny použité šrouby jsou pevnosti 10.9. Všechny posudky jsou provedeny v souladu s normami a literaturou [6-9, 12, 14] a [17-22].



Obr. 59.: 3D model statického působení konstrukce



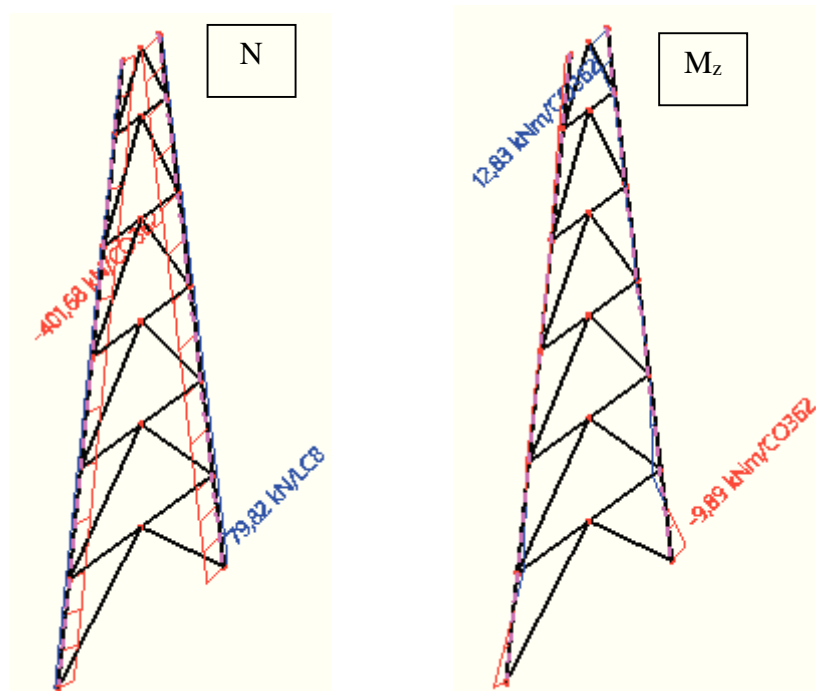
## 4.1 Pásky příhradových kyvných stavek o výšce 10 metrů

A) Rozhodující kombinace zatížení pro  $N_{\max}$  tlakovou:

$$N_{\max,Ed} = -401,68 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 12,83 \text{ kNm}$$

Obr. 60.: Rozhodující velikosti vnitřních sil na pásech podpěry pro  $N_{\max}$  tlakovou**Průřezové charakteristiky:****Průřez: IPE 270**

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$A = 4,59E+03 \text{ mm}^2$$

$$W_{pl,y} = 4,84E+05 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 9,70E+04 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 1,12E+02 \text{ mm}$$

$$i_z = 3,02E+01 \text{ mm}$$

$$A_{vz} = 1,77E+03 \text{ mm}^2$$

$$I_w = 7,06E+10 \text{ mm}^4$$

$$I_T = 1,59E+05 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 4,20E+06 \text{ mm}^4$$

**Vzpěr:**

Vzpěrné délky:  $L_{cr,y} = 10,145 \text{ m}$

$L_{cr,z} = 2,000 \text{ m}$

Klopící délka:  $L_{LT} = 2,000 \text{ m}$

$$\varepsilon = 1,000$$

Vzpěry y-y:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 90,373 \quad \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 0,962$$

$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,900$  křivka vzpěrnosti:    $\alpha = 0,21$

$$\phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 1,043$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0,692$$

Vzpěry z-z:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = 66,160 \quad \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 0,705$$

$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,900$  křivka vzpěrnosti:    $\alpha = 0,34$

$$\phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,834$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0,781$$

**Klopení:**

$k_z = 1 \quad z_j = 0$

$k_w = 1 \quad z_g = 0$

$k_y = 1 \quad \xi_j = 0$

$C_1 = 1 \quad \xi_g = 0$

$C_2 = 0$  (konzervativně pro konstantní lineární průběh)

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = 1,683$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \xi_g)^2} - C_2 \xi_g \right] = 1,957$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 328114,12 \text{ kNmm}$$

křivka klopení:  ▼

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = 0,589$$

$$\alpha_{LT} = 0,21$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,714$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,894$$

### **Posudek:**

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 1079,71 \text{ kN} \quad \psi \approx 0$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 113,74 \text{ kNmm} \quad C_{mz} = 0,6 + 0,4\psi = 0,6$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 22,78 \text{ kNmm}$$

$$k_{zy} = 1,00 \quad (\text{konzervativně})$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,831$$

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,50$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 0,819 < 1$$

**vyhovuje**

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 0,944 < 1$$

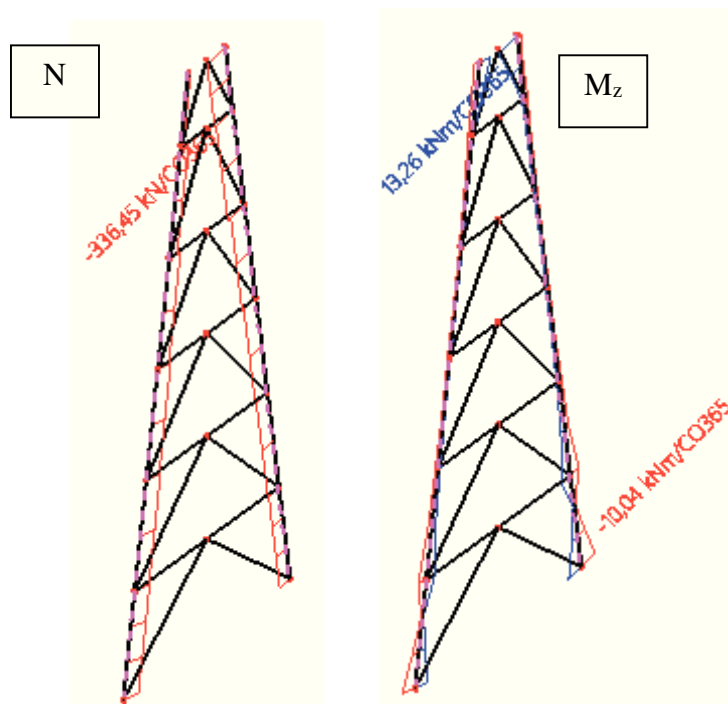
**vyhovuje**

### **B) Rozhodující kombinace zatížení pro $M_{z,max}$ :**

$$N_{Ed} = -250,67 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{z,max Ed} = -9,66 \text{ kNm}$$



Obr. 61.: Rozhodující vnitřní síly na pásech podpěry pro  $M_{z,max}$

#### Posudek:

Vzpěrné délky, součinitele vzpěrnosti a klopení a interakční součinitelé lze brát stejné jako v případě (A).

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 0,883 \leq 1$$

⇒ VYHOVUJE

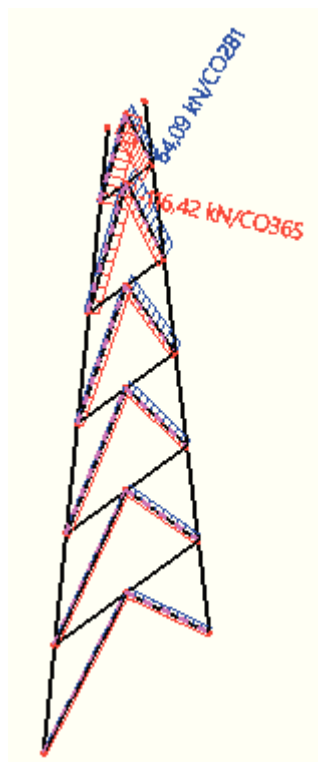
## 4.2 Diagonály příhradových kyvných stojek o výšce 10 metrů

Diagonály byly navrženy v souladu s platnými normami [7 - 10].

#### Rozhodující kombinace zatížení:

Kombinace rozhodující pro  $N_{max}$ :

$$N_{max,Ed} = -116,42 \text{ kN}$$



Obr. 62.: Maximální velikost normálových sil na diagonálách podpěry

Průřezové charakteristiky:

<b>Průřez:</b>	<b>L 60/8</b>	
$f_y =$	<b>235</b>	<i>MPa</i>
$A =$	903,00	<i>mm<sup>2</sup></i>
$i_y =$	18,00	<i>mm</i>
$b =$	60,00	<i>mm</i>
$t =$	8,00	<i>mm</i>

Navrženo jako složený, členěný prut (2x L60-8), rámové spojky jsou umístěny ve třetinách prutu [22].

Posuzováno jako průřez 4. třídy.

Určení účinného průřezu:

$$\bar{b} = 60,00 \quad mm$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1$$

$$(\text{pro } \psi = 1,0) \quad k_{\sigma} = 0,43$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_{\sigma}}} = 0,4027 < 0,784$$

$$\rho = 1,00$$

$$A_{eff} = A = 903,00 \text{ mm}^2$$

Pro členěný prut, navržený z rovnoramenných úhelníků a s rámovými spojkami minimálně ve třetinách prutu, je rozhodující posouzení na vzpěr pro vybočení kolmo k hmotné ose členěného prutu [21].

Vzpěr:

$$\text{Vzpěrná délka:} \quad L_{cr,y} = 2,847 \text{ m}$$

(konzervativně)

$$\varepsilon = 1,0000$$

Vzpěry y-y:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 158,167 \quad \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 1,684$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,900$$

křivka vzpěrnosti:



$$\alpha = 0,34$$

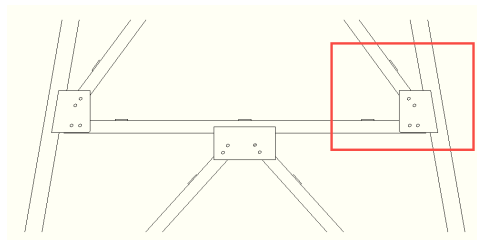
$$\phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 2,171$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0,282$$

Posudek:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot 2 A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 119,869 > 116,42 \text{ kN}$$

**vyhovuje**



### Posudek šroubového spoje:

Předepsané limity pro konstrukční řešení:

Úhelník je připojen ke styčnickovému plechu jedním ramenem pomocí dvou šroubů [8].

Tloušťka styčnickového plechu:  $t = 10 \text{ mm}$

Šrouby: **2x M12-10.9** (šrouby předepnout alespoň na 50% přepínací síly)

- minimální vzdálenost otvoru od konce styčnickového plechu či úhelníku:

$$e_1 = 35 \text{ mm}$$

- předepsaná rozteč šroubů:  $p_1 = 40 \text{ mm}$

- minimální vzdálenost otvoru od konce desky v příčném směru:  $e_2 = 35 \text{ mm}$

- vzdálenost otvoru od okraje příruby úhelníku:  $e_2 = 35 \text{ mm}$

- průměr otvoru pro šroub M12:  $d_0 = 13 \text{ mm}$

Návrhová síla do jednoho úhelníku:

Úhelník je připojen ke styčnickovému plechu jedním ramenem pomocí dvou šroubů [8].

$$N_{Ed} = \frac{116,42}{2} = 58,21 \text{ kN}$$

Únosnost dvou šroubů ve střihu:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{0,5 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = 67,44 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 58,21 \text{ kN}$$

⇒ VYHOVUJE

Únosnost dvou šroubů v otláčení:

$$\alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_0}, \frac{p_1}{3d_0} - 0,25 \right\} = 0,78$$

$$F_{b,Rd} = 2 \cdot \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} = 134,03 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 58,21 \text{ kN}$$

⇒ VYHOVUJE

Únosnost nesymetricky připojeného úhelníku pomocí dvojice šroubů:

$$p_1 \geq 2,5d_0 \Rightarrow \beta_2 = 0,4 \text{ (konzervativně)}$$

$$A_{net} = A - t \cdot d_0 = 773 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = 89,05 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 58,21 \text{ kN}$$

⇒ VYHOVUJE

Vytržení skupiny šroubů:

$$A_{nt} = t \cdot (e_1 + p_1 - 1,5d_0) = 555 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = t \cdot (e_2 - 0,5d_0) = 285 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff,2,Rd} = \frac{0,5 f_u A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y A_{nv}}{\gamma_{M0} \sqrt{3}} = 118,6 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 58,21 \text{ kN}$$

⇒ VYHOVUJE

Pozn.: Obdobný typ spoje vyhoví i pro svislice kyvné stojky.



Obr. 63.: Ukázka skutečného provedení šroubových spojů (podobných)



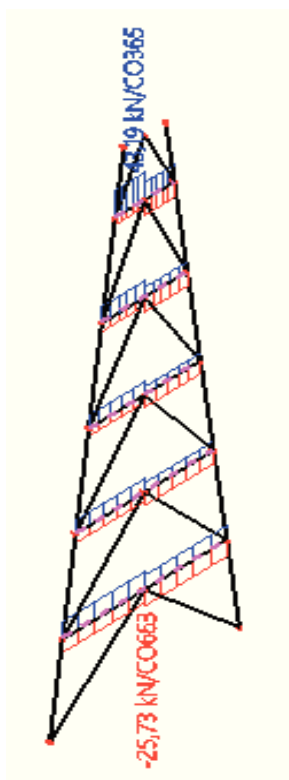
### 4.3 Svislice příhradových kyvných stojek o výšce 10 metrů

Navrženy jsou stejné profily jako u diagonál z důvodu konstrukčního řešení [13].

#### Rozhodující kombinace zatížení:

Kombinace rozhodující pro  $N_{\max}$ :

$$N_{\max, Ed} = -25,73 \text{ kN}$$



Obr. 64.: Maximální velikost normálových sil na svislicích podpěry

Vzpěrná délka:

v rovině:  $L_{cr} = 1959 \text{ mm}$  (konzervativně systémová délka nejdelšího prutu)

z roviny:  $L_{cr} = 3917 \text{ mm}$  (dvojnásobná délka)

#### Průřezové charakteristiky 2xL60-8, ocel S235J0 (určeno pro jeden úhelník):

$$A = 903 \text{ mm}^2;$$

$$i_{\xi} = 11,7 \text{ mm};$$

Pro vybočení z roviny působí jako členěný prut. Rámové spojky jsou umístěny ve čtvrtinách délky prutu.

**Zatřídění průřezu:** Dílčí průřez členěného prutu je posuzován jako průřez třídy 4.

**Určení účinného průřezu:**

$$\bar{b} = 60 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$k_\sigma = 0,43 \quad (\text{pro } \psi = 1,0)$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}} = 0,403 \leq 0,748$$

$$\rho = 1,00$$

$$A_{eff} = A = 903 \text{ mm}^2$$

**Rovinný vzpěr  $\xi$ - $\xi$ :**

$$\lambda_\xi = \frac{L_{cr}}{i_\xi} = 230,6$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_\xi = \frac{\lambda_\xi}{\lambda_1} \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}} = 2,46$$

$\alpha = 0,34$  křivka vzpěrnosti b

$$\phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 3,899$$

$$\chi_\xi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0,144$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_\xi \cdot 2 \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 61,27 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 25,73 \text{ kN}$$

⇒ VYHOVUJE

**Posudek členěného prutu:**

Svislice zajišťují opěru diagonálám pro vybočení z roviny kyvné stojky. Pro zvýšení tuhosti jsou proto svislice navrženy jako členěný prut s rámovými spojkami.

Návrh spojek: **P10 – 60x230** mm umístěné ve čtvrtinách prutu.

Vzhledem k velké rezervě v únosnosti prutu na rovinný vzpěr není potřeba posuzovat, členěný prut jistě vyhoví.

**Svarový přípoj rámové spojky:**

Návrh koutového svaru: **a = 4 mm** ...Jistě VYHOVÍ

#### 4.4 Patky příhradových kyvných stojek o výšce 10 metrů

Návrh a posouzení patek příhradových kyvných stojek je provedeno v souladu s platnými normami [6, 7, 13 a 17] a dle řešených příkladů v [21 a 22]. Pro podpěru o výšce 10 metrů je navržen jeden typ patky a kotvení.



Obr. 65.: Vzhled skutečného provedení podobně řešené patky

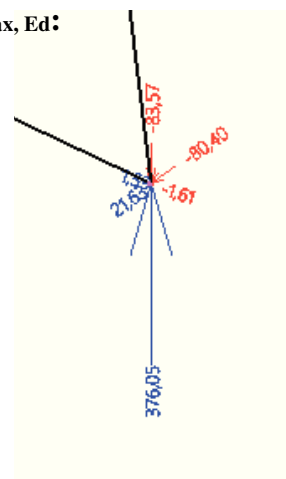
##### A) Rozhodující kombinace zatížení pro $N_{\max}$ tlakovou a $H_{y,\max, Ed}$ :

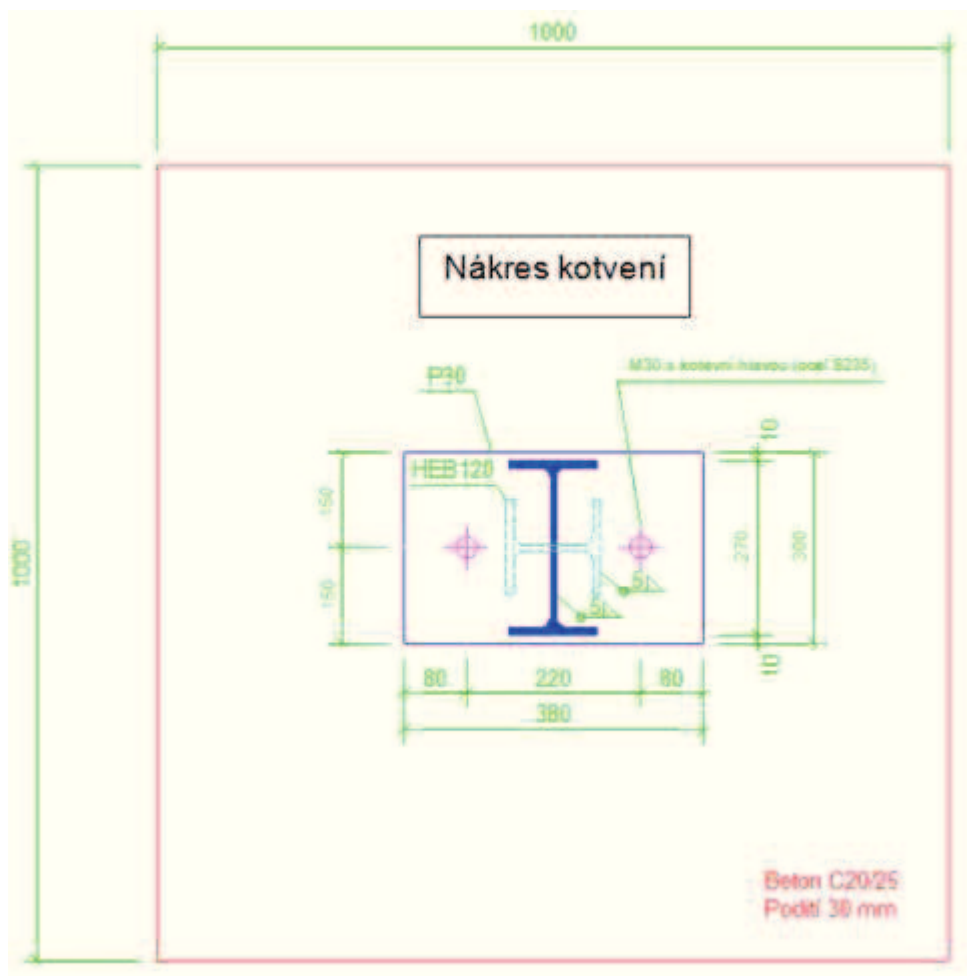
Kombinace rozhodující pro  $N_{\max}$  tlakovou a  $H_{y,\max, Ed}$ :

$$N_{\max, Ed} = -376,05 \text{ kN}$$

$$H_{y,\max, Ed} = -80,4 \text{ kN}$$

$$H_{x, Ed} = 1,61 \text{ kN}$$





Obr. 66.: Schéma kotvení příhradové kyvné stojky

Beton: C20/25

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

Ocel: **P30**, S235J0

Podtlití:

$$t_g = 30 \text{ mm} \leq 0,2 \cdot \min(a; b) = 0,2 \cdot 240 = 48 \text{ mm}$$

Malta musí mít vyšší pevnost než beton základu.

Geometrie:

$$a = 380 \text{ mm}$$

$$b = 240 \text{ mm}$$

$$a_r = 310 \text{ mm}$$

$$b_r = 380 \text{ mm}$$

$$h = 1000 \text{ mm}$$

$$a_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} a + 2a_r = 380 + 2 \cdot 310 = 1000 \text{ mm} \\ 5a = 5 \cdot 380 = 1900 \text{ mm} \\ a + h = 380 + 1000 = 130 \text{ mm} \\ 5b_1 = 5 \cdot 1000 = 5000 \text{ mm} \end{array} \right\} = 1000 \text{ mm}$$

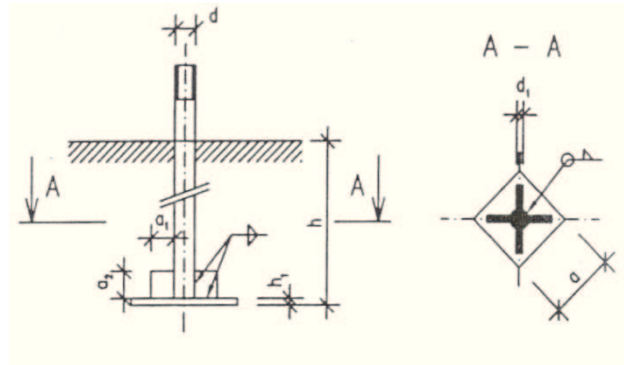
$$b_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} b + 2b_r = 240 + 2 \cdot 380 = 1000 \text{ mm} \\ 5b = 5 \cdot 240 = 1200 \text{ mm} \\ b + h = 240 + 1000 = 1240 \text{ mm} \\ 5a_1 = 5 \cdot 1000 = 5000 \text{ mm} \end{array} \right\} = 1000 \text{ mm}$$

### Návrh kotevních šroubů:

#### 2x kotevní šroub M30 s kotevní hlavou

Parametry kotevního šroubu:

ocel:	S235
průměr dřívku:	$d = 32 \text{ mm}$
hloubka kotvení:	$h = 600 \text{ mm}$
rozměry kotevní hlavy:	
	$a = 95 \text{ mm}$
	$h_1 = 10 \text{ mm}$
	$a_1 = 40 \text{ mm}$
	$a_2 = 50 \text{ mm}$
	$d_1 = 6 \text{ mm}$
rozteč šroubů:	$c = 220 \text{ mm}$



Součinitel koncentrace napětí:

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 b_1}{a b}} = \sqrt{\frac{1000 \cdot 1000}{380 \cdot 240}} = 3,3$$

Návrhová pevnost betonu v tlaku:

$$f_{jd} = \frac{0,67 k_j f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,67 \cdot 3,3 \cdot 20}{1,50} = 29,5 \text{ MPa} \leq 3 f_{cd}$$

Efektivní šířka patní desky:

$$c = t \sqrt{\frac{f_y}{3 f_{jd} \gamma_{M0}}} = 35 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 29,5 \cdot 1,0}} = 57,0 \text{ mm}$$

Účinná plocha patního plechu:

$$A_{eff} = (110 + 2 \cdot 57,0) \cdot (240) - (110 + 2 \cdot 57,0 - 5,9 - 2 \cdot 57,0) \cdot (220 - 2 \cdot 9,2 - 2 \cdot 57,0) = 44640 \text{ mm}^2$$

Návrhová únosnost centricky tlačené patky:

$$N_{Rd} = A_{eff} f_{jd} = 44640 \cdot 29,5 \cdot 10^{-3} = 1317 \text{ kN} \geq N_{\max, Ed} = 376,05 \text{ kN}$$

⇒ VYHOVUJE

Svarový přípoj IPE270 ke kotevní desce:

Návrh: **koutový svar a = 5 mm**

Svar je konzervativně dimenzován na přenos veškerého napětí (nepočítá se s přenosem kontaktem)

Obvod celého svaru:  $L_{w1} = 868 \text{ mm}$

Délka svaru podél stojiny:  $L_{w2} \cong 2 \cdot d = 2 \cdot 159 = 318 \text{ mm}$

Napětí od normálové síly:

$$\sigma_{w1} = \frac{N_{\max, Ed}}{a \cdot L_{w1}} = \frac{376,05 \cdot 10^3}{5 \cdot 868} = 86,7 \text{ MPa}$$

Napětí od posouvající síly:

$$\sigma_{w2} = \tau_{II} = \frac{H_{y, \max, Ed}}{a \cdot L_{w2}} = \frac{80,4 \cdot 10^3}{5 \cdot 318} = 50,56 \text{ MPa}$$

Výsledné napětí v nejvíce namáhané části svaru (podél stojiny IPE 270):

$$\sigma_w = \sqrt{\sigma_{w1}^2 + \sigma_{w2}^2} = \sqrt{86,7^2 + 50,56^2} = 100,37 \text{ MPa}$$

Posudek koutového svaru:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360 / \sqrt{3}}{0,8 \cdot 1,25} = 207,8 \text{ MPa} \geq \sigma_w = 100,37 \text{ MPa}$$

⇒ VYHOVUJE

Návrh a posudek smykové zarážky:

Zarážka bude tvořena úpalkem profilu HEB120.

Beton C20/25:  $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$

Potřebná výška zarážky v betonovém základě:

$$h_{\min} = \frac{H_{y,\max,Ed} \cdot \gamma_c}{b \cdot f_{ck}} = \frac{80,4 \cdot 10^3 \cdot 1,5}{150 \cdot 20} = 40,2 \text{ mm}$$

⇒ **navržena zarážka**  $h = 50 \text{ mm} + 30 \text{ mm}$  podlití = 80 mm

Svary připojující zarážku k patní desce:

Navržen koutový svar **a = 5 mm**

$$\tau_{II} = \frac{H_{y,\max,Ed}}{2a_w(h - 2t_f)} = \frac{80,4 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot (120 - 2 \cdot 11)} = 57,18 \text{ MPa} \leq f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360 / \sqrt{3}}{0,8 \cdot 1,25} = 207,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{H_{y,\max,Ed} \cdot 65}{(h - t_f) 2a_w b} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{80,4 \cdot 10^3 \cdot 65}{(120 - 11) \cdot 2 \cdot 5 \cdot 120} = 27,85 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2} = 2 \cdot 27,85 = 55,7 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 27,85 \text{ MPa} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \frac{360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

⇒ VYHOVUJE

**B) Rozhodující kombinace zatížení pro  $N_{\max}$  tahovou:**

Kombinace rozhodující pro  $N_{\max}$  tahovou:

$$N_{\max,Ed} = 83,57 \text{ kN}$$

$$H_{y,Ed} = 80,4 \text{ kN}$$

$$H_{x,Ed} = 0,0 \text{ kN}$$



### Posudek patního plechu

Rozměry pro výpočet náhradního T profilu:

$$e = 80 \text{ mm}$$

$$m = \frac{220}{2} - \frac{t_w}{2} - 0,8 a_w \sqrt{2} = \frac{220}{2} - \frac{5,9}{2} - 0,8 \cdot 5 \cdot \sqrt{2} = 101,4 \text{ mm}$$

$$m_2 = \frac{220}{2} - t_f - 0,8 a_w \sqrt{2} = \frac{220}{2} - 9,2 - 0,8 \cdot 5 \cdot \sqrt{2} = 95,1 \text{ mm}$$

$$n = \min(e; 1,25m) = \min(80; 1,25 \cdot 101,4) = 80 \text{ mm}$$

Účinná délka náhradního T profilu (předpokládá se porušení bez páčení):

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{101,4}{101,4+80} = 0,56$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{95,1}{101,4+80} = 0,52$$

$$\alpha \cong 5,3$$

$$l_{eff,1} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2\alpha m - (4m + 1,25e) = 2 \cdot 5,3 \cdot 101,4 - (4 \cdot 101,4 + 1,25 \cdot 80) = 569 \text{ mm} \\ 4\pi m = 4\pi \cdot 101,4 = 1275 \text{ mm} \end{array} \right\} = 569 \text{ mm}$$

Protože jsou kotevní šrouby daleko od pásnic sloupu, které nejsou vyztuženy, nelze jednoznačně konstatovat, zda lze pásnici sloupu uvažovat jako dostatečnou výztuhu patní desky. Konzervativně se proto ve výpočtu únosnosti T profilu v ohybu uvažuje účinnou délkou rovnou šířce patního plechu  $l_{eff} = 240 \text{ mm}$ .

Účinná délka kotevního šroubu:

$$L_b = 8d + t_g + t + \frac{t_n}{2} = 8 \cdot 32 + 30 + 30 + \frac{19}{2} = 325,5 \text{ mm}$$

$$L_{b,lim} = \frac{7 m^2 n A_s}{l_{eff} t^3} = \frac{7 \cdot 101,4^2 \cdot 80 \cdot 561}{240 \cdot 30^3} = 313 \text{ mm} \leq L_b = 325,5 \text{ mm}$$

→ Potvrzen modul porušení 1-2, tj. bez páčení šroubů.

Únosnost T profilu v ohybu:

$$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2l_{eff,1} t^2 f_y}{4m \gamma_{M0}} = \frac{2 \cdot 240 \cdot 35^2 \cdot 235}{4 \cdot 101,4 \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 340,7 \text{ kN}$$

Únosnost dvou kotevních šroubů v tahu:

$$F_{T,3,Rd} = 2 F_{t,Rd} = 2 \cdot 0,85 \cdot \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot 0,85 \cdot \frac{0,9 \cdot 561 \cdot 360}{1,25} \cdot 10^{-3} = 247,2 \text{ kN}$$

O únosnosti rozhoduje porušení šroubů.

$$F_{T,Rd} = 247,2 \text{ kN} \geq N_{\max,Ed} = 83,57 \text{ kN}$$

⇒ VYHOVUJE

Porušení soudržnosti mezi šroubem a betonem:

Beton C20/25:  $f_{t,k} = 1,35 \text{ MPa}$  (charakteristická pevnost v tahu a soudržnosti)

$f_{o,k} = 40 \text{ MPa}$  (charakteristická pevnost betonu v otlačení)

Plocha kotevní hlavy:

$$A = a \cdot a = 95 \cdot 95 = 9025 \text{ mm}^2$$

$$A_{\max} = 0,8 A_s \frac{0,8 f_{yd}}{f_{od}} + \frac{\pi d^2}{4} = 0,8 \cdot 561 \cdot \frac{0,8 \cdot 235 / 1,25}{40 / 1,5} + \frac{\pi \cdot 32^2}{4} = 3335 \text{ mm}^2$$

$$A_{\max} = 3335 \text{ mm}^2 \leq A = 9025 \text{ mm}^2 \dots \text{dosazovat } A_{\max}$$

$$\Delta h = \left( \frac{4A}{\pi d^2} - 1 \right) \frac{f_{od}}{4f_{td}} d = \left( \frac{4 \cdot 3335}{\pi \cdot 32^2} - 1 \right) \cdot \frac{40 / 1,5}{4 \cdot 1,35 / 1,5} \cdot 32 = 746 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} F_{s,Rd} &= \pi d (h + \Delta h) f_{td} = \\ &= \pi \cdot 32 \cdot (600 + 745) \cdot \frac{1,35}{1,5} \cdot 10^{-3} = 121,6 \text{ kN} \geq \frac{N_{\max,Ed}}{2} = \frac{83,57}{2} = 41,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

⇒ VYHOVUJE

Vytržení skupiny šroubů ze základu:

Ověření šířky základu:

$$b_z = 1000 \text{ mm} \geq 1,15 h + c = 1,15 \cdot 600 + 220 = 910 \text{ mm} \dots \text{požadavek splněn}$$

Plocha pláště tělesa při vytržení:

$$A_k = 2,1h^2 + 2,3c \cdot h = 2,1 \cdot 600^2 + 2,3 \cdot 220 \cdot 600 = 1060 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

Únosnost na vytržení skupiny šroubů ze základu:

$$F_{v,Rd} = A_k f_{td} = 1060 \cdot 10^3 \cdot \frac{1,35}{1,5} \cdot 10^{-3} = 935,6 \text{ kN} \geq N_{\max,Ed} = 83,57 \text{ kN}$$

⇒ VYHOVUJE

## 5 Technická zpráva

Technická zpráva je vypracována pro všechny navrhované varianty polí i podpěr dopravníkového mostu.

### 5.1 Popis konstrukce

Předmětem návrhu a statického posouzení jsou rozhodující nosné prvky konstrukce pásových dopravníků. Celkem jsou navrženy 4 varianty vodorovných polí a 3 varianty kyvných stojek. Pásové dopravníky jsou obvykle součástí drtící a třídící linky pro manipulaci například granitové, žulové nebo uhelné drtě. Linky se nachází v Turecku.

Konstrukce jsou navrženy jako ocelové se založením na železobetonových základech. Nosné konstrukce pásového dopravníku sestávají z ocelových příhradových mostů, na kterých jsou umístěny dopravníkové pásy a veškeré technologie a dále pak z ocelových příhradových sloupů. Podél pole příhradového mostu vedou vždy dvě servisní lávky. Celá ocelová konstrukce jednoho pole mostu tvoří jeden dilatační celek. Celkové hmotnosti ocelových konstrukcí pásových dopravníků jsou přibližně: 25 m S355J0 - 7080 kg, 20 m S355J0 - 3985 kg, 20 m S235J0 - 4842 kg, 15 m S355J0 - 2720 kg.

Dopravníkové mosty jsou dlouhé 15, 20 a 25 m, šířka pole mostu je vždy 1000 mm, výška mostu je 1250 mm. Mosty tvoří svařované příhradové montážní celky (segmenty) maximální délky 10 m, spoje segmentů jsou navrženy jako šroubované. Ke konstrukci mostu jsou uchyceny všechny potřebné technologie – dopravníkový pás, kabelové rozvody a další potřebné technologie. Staticky mosty působí jako prosté nosníky a obslužné lávky jako konzoly. Podpory mostu tvoří ložiska umístěná na koncích příhradových podpěr. Boční části mostu jsou po celé délce opatřeny opláštěním z tahokovu.

Kolem dopravníkového mostu jsou umístěny na obou stranách servisní lávky. Maximální charakteristické zatížení lávky je projektováno na  $200 \text{ kg/m}^2$ . Nosné prvky lávky jsou uchyceny k dolním pasům dopravníkovému mostu pomocí šroubového spoje. Nášlapnou vrstvu plošiny tvoří odporově svařované podlahové rošty (návrh roštů není součástí statického posudku ocelové konstrukce; je však potřeba zajistit, aby rošty spolehlivě přenesly projektované zatížení lávky). Plošina je opatřena zábradlím z trubek (návrh zábradlí není součástí statického posudku konstrukce; je však potřeba zajistit, aby nosné prvky zábradlí spolehlivě přenesly vodorovné spojitě zatížení horního madla o charakteristické

hodnotě 150 kN/m). Konstrukční řešení zábradlí musí respektovat platnou normu [16].

Dopravníkový most je vždy podepřen dvěma kyvnými rovinnými příhradovými sloupy, které jsou kotveny do železobetonového základu. Celkem jsou navrženy 3 varianty těchto sloupů navzájem od sebe odlišných výškou, a to ve variantách 10, 15 a 20 metrů z oceli S235J0. Spoje nosných prvků příhradových sloupů jsou navrženy jako šroubové. Všechna kotvení do základových konstrukcí jsou navržena pomocí kotvící desky uchycené předem zabetonovanými kotevními šrouby s kotevní hlavou.

## 5.2 Statické řešení

### 5.2.1 Globální analýza konstrukce

Nosná konstrukce je řešena s využitím prostorového prutového modelu. Lineární výpočet je proveden metodou konečných prvků s využitím software Scia Engineer 2013. Zatížení jsou uvažována v souladu s [2-4, 10] a dále podle technologických požadavků.

### 5.2.2 Statické řešení

Dopravníkové mosty jsou navrženy jako prostě uložené prostorové příhradové konstrukce. Pásky příhrady jsou modelovány jako spojitě nosníky. Diagonály, prvky zavětrování, nosníky lávky v oblasti mezi dolními pásky jsou modelovány s klouby na jejich koncích. Momentový přípoj výplňových prvků je modelován u svislic a u příčných rozpěr (příčníků) mostů. Nosné prvky příhradové konstrukce dopravníkového mostu jsou navrženy z válcovaných profilů U a IPE. Mosty jsou tvořeny ze svařovaných montážních dílců (segmentů), montážní spoje dílců jsou navrženy jako šroubované. Kloubové podepření mostů je zajištěno pomocí ložisek umístěných na koncích příhradových podpěr. Statický výpočet předpokládá, že podpěry mostu jsou umístěny pod styčníky příhradové konstrukce mostu (zatížení mimo styčníky dolních pásů mostu od reakcí z podpěr je nepřípustné).

Nosníky servisní lávky jsou modelovány jako konzoly umístěné vždy v místě každého druhého styčníku typu svislice - dolní pás - příčník. Pásky příhradových kyvných stojek jsou navrženy z válcovaných IPE profilů, pásky jsou modelovány jako spojitě po celé výšce podpěry. Výplňové pruty (diagonály a svislice) jsou navrženy jako členěné s rámovými spojkami, pásky výplňových prutů tvoří rovnoramenné úhelníky. Výplňové pruty jsou k pásům kyvné stojky uchyceny kloubově pomocí šroubových spojů.

Kotvení podpěr je navrženo s vyztuženou kotevní deskou (patním plechem) umístěnou na podliti, nosné kotevní šrouby jsou navrženy jako předem zabetonované s kotevní hlavou. Statické řešení předpokládá minimální šířku základové konstrukce 1000 mm v obou směrech, minimální požadovaná hloubka základu je 1000 mm. Samotný návrh základové konstrukce není součástí tohoto statického výpočtu – základy musí být schopné spolehlivě odolat reakcím uvedeným ve statickém výpočtu.

### 5.2.3 Stabilitní řešení

Stabilita horního a dolního pásu příhradového mostu je zajištěna prvky vodorovného zavětrování a polorámem vzniklým z příčníků umístěných mezi dolními pásy mostu a svislic mezi horními a dolními pásy mostu. Vzpěrné délky byly stanoveny jako vzdálenost mezi svislicemi mostu, anebo (pokud nepostačovala tuhost polorámů) byly určeny lineární bifurkační analýzou s využitím softwarového produktu Scia Engineer 2013. Vzpěrné délky výplňových prutů příhradoviny se konzervativně uvažují rovny systémovým délkám.

Vzpěrné délky pásů příhradových stojek jsou v rovině stojky rovny systémovým délkám (vzdálenost styčníků), pro vybočení z roviny stojky jsou vzpěrné délky rovny celkové výšce stojky.

## 5.3 Ocelové konstrukce

### 5.3.1 Materiál

Všechny nosné prvky příhradových mostů jsou navrženy z oceli S355J0 a v možné variantě 20 m dlouhého pole z oceli S235J0.

Nosné prvky servisní lávky jsou navrženy z oceli S235J0.

Všechny nosné prvky příhradových sloupů jsou navrženy z oceli S235J0.

Všechny šrouby jsou z materiálu 10.9, nebo 8.8.

S ohledem na riziko lamelární praskavosti je u všech konstrukčních prvků, pro které platí, že jejich tloušťka  $t \geq 20$  mm, požadována minimální jakostní třída Z15 [9].

Konstrukce je kotvena do betonových základů pomocí kotevních šroubů.

### 5.3.2 Posouzení nosných profilů

Všechny nosné ocelové prvky jsou navrženy na vnitřní síly z globální statické analýzy a posouzeny podle platných norem [6-10].

### 5.3.3 Skladba profilů

#### Příhradová konstrukce mostu o délce 25m z oceli S355J0

Horní pásy mostu – U 260

Dolní pásy mostu – U 240

První dvě tlačené diagonály (ve svislé rovině příhrady) – U 140

Zbylé tlačené diagonály (ve svislé rovině příhrady) – U 120

Diagonály u montážních spojů (ve svislé rovině příhrady) - U 100

Svislice (ve svislé rovině příhrady) – U 140

Svislice na koncích montážních dílů (ve svislé rovině příhrady) - P30x120

Příčníky mezi dolními pásy – U 240

Příčníky uprostřed svislic – U 100

Diagonály podélného zavětrování – U 80

#### Příhradová konstrukce mostu o délce 20m z oceli S235J0

Horní pásy mostu – U 220

Dolní pásy mostu – U 240

První dvě tlačené diagonály (ve svislé rovině příhrady) – U 140

Zbylé tlačené diagonály (ve svislé rovině příhrady) – U 120

Diagonály u montážních spojů (ve svislé rovině příhrady) - U 100

Svislice (ve svislé rovině příhrady) – U 120

Příčníky mezi dolními pásy – U 240

Příčníky uprostřed svislic – U 100

Diagonály podélného zavětrování – U 80

#### Příhradová konstrukce mostu o délce 20m z oceli S355J0

Horní pásy mostu – U 180

Dolní pásy mostu – U 180

První dvě tlačené diagonály (ve svislé rovině příhrady) – U 120

Zbylé tlačené diagonály (ve svislé rovině příhrady) – U 120

Diagonály u montážníků spojů (ve svislé rovině příhrady) - U 80

Svislice (ve svislé rovině příhrady) – U 120

Příčníky mezi dolními pásy – U 180

Příčníky uprostřed svislic – U 80

Diagonály podélného zavětrování – U 80

#### Příhradová konstrukce mostu o délce 15m z oceli S235J0

Horní pásy mostu – U 140

Dolní pásy mostu – U 140

První dvě tlačené diagonály (ve svislé rovině příhrady) – U 120

Zbylé tlačené diagonály (ve svislé rovině příhrady) – U 80

Diagonály u montážníků spojů (ve svislé rovině příhrady) - U 80

Svislice (ve svislé rovině příhrady) – U 100

Příčníky mezi dolními pásy – U 120

Příčníky uprostřed svislic – U 80

Diagonály podélného zavětrování – U 80

#### Servisní lávka

Konzoly nesoucí lávku - IPE 160 (S235J0)

Nosníky lávky – L70x6 (S235J0)

#### Příhradové podpěry (kyvné stojky) o délce 10 metrů z oceli S235J0

Pásy kyvných stojek – IPE270

Diagonály kyvné stojky - 2xL60-8

Svislice kyvné stojky - 2xL60-8

#### Příhradové podpěry (kyvné stojky) o délce 15 metrů z oceli S235J0

Pásy kyvných stojek – IPE300

Diagonály kyvné stojky - 2xL70-6

Svislice kyvné stojky - 2xL70-6



Příhradové podpěry (kyvné stojky) o délce 20 metrů z oceli S235J0

Pásky kyvných stojek – IPE400

Diagonály kyvné stojky - 2xL80-10

Svislice kyvné stojky - 2xL80-10

## 5.4 Kotvení

Kotvení je zajištěno pomocí (pouze u 20 m vysoké stojky vyztužených) patních desek tloušťky 30 mm (ocel S235J0), které jsou do železobetonového základu kotveny pomocí kotevních šroubů (10 m stojka - 2xM30, 15 m stojka 2x M30, 20 m stojka 4x M42). Kotvení je posouzeno metodou komponent na účinky svislých reakcí (tahových i tlakových) a vodorovných reakcí.

Výška podlití je u patek stojek s výškami 15 a 20 metrů volena jednotně 40 mm a u 10 m varianty 30 mm. Podlití je z jemnozrnného betonu kvality min C20/25 -XC1-Dmax 8, vhodné je použití nesmršlivé malty Groutex 603.

Statické řešení předpokládá minimální šířku základové konstrukce 1000 mm v obou směrech, minimální požadovaná hloubka základu je 1000 mm.

## 5.5 Ochrana proti korozi

Všechny nosné prvky budou chráněny nátěrovým systémem, který musí odpovídat minimálně stupni korozní agresivity C3 dle [11-16]. Úprava povrchu před nanesením základní vrstvy nátěrového systému musí splňovat požadavky stupně Sa2,5 podle [13]. Šrouby jsou předepsány rovněž v žárově pozinkované úpravě.

Betonové základy musí být navrženy tak, aby nedocházelo k zadržování vody a nečistot v oblasti kotvení ocelové konstrukce. Doporučuje se, aby byly základy vyvýšeny alespoň 300 mm nad okolní terén. Díry v patním plechu se po osazení kotevních šroubů doporučuje vyplnit epoxidovou pryskyřicí.

Kontrolní prohlídky konstrukce se doporučuje provádět každých 5 let.

## 5.6 Výroba

Ocelová konstrukce je navržena ve výrobní skupině EXC2 podle normy [13] +A1. Podružné konstrukce (zábradlí, žebříky) jsou zařazeny do výrobní skupiny EXC1. Přesnost montáže a osazení konstrukce a navazujících konstrukcí musí odpovídat [15]

## 5.7 Montáž ocelové konstrukce

Montáž ocelové konstrukce musí být prováděna odborně způsobilou firmou za účasti kvalifikovaných osob a pod vedením osoby s patřičnou autorizací. Montáž musí respektovat obecná pravidla pro montáž ocelových konstrukcí a musí být v souladu se statickou funkcí jednotlivých prvků.

Vzhledem k možným dynamickým účinkům od transportu materiálu je potřeba zajistit šroubové spoje proti možnému uvolňování. U spojů horních a dolních pásů příhradového nosníku je potřeba zabránit uvolňování šroubů pomocí speciální podložky u matice (obyčejnou podložku vložit také pod hlavu šroubu). U ostatních šroubových spojů je zapotřebí zvolit obdobné konstrukční řešení jako u spojů pásů příhradového mostu nebo šrouby předepnout alespoň na 50 % předpínací síly potřebné pro vytvoření třecího spoje. Každý rošt servisní lávky musí být řádně ukotven alespoň čtyřmi mechanickými kotevními prostředky, které jsou opatřeny zařízením proti uvolňování šroubů.

Po montáži konstrukce musí být provedeny odborné opravy poškozených částí nátěrového systému.

Před započítím montáže bude zpracován dodavatelskou firmou technologický postup montáže, který bude předložen ke schválení projektantovi.

## 5.8 Bezpečnost práce

Veškeré práce na staveništi musí být prováděny osobami pro jednotlivé činnosti řádně kvalifikovanými a proškolenými a pod dozorem osob oprávněných dle platného právního řádu.

Práce musí být prováděny v souladu s projektovou dokumentací. Při všech pracích v průběhu realizace stavby musí být dodržen právní rámec platný na území Turecka.

## 6 Porovnání navržených variant

Celkem byly navrženy 4 varianty polí dopravníkových mostů a 3 varianty podpěr. Hodnoceny byly především pole dopravníků. Konkrétně hmotnost na metr délky pole, cena na metr délky pole, celková cena, hmotnost a velikost plochy na povrchovou úpravu. Cena jednotlivých profilů byla čerpána z ceníku firmy Ferrum Plzeň s.r.o., který je uveden na webových stránkách [24].

Cenově se hodnotí pouze ocelová nosná konstrukce, která se na rozdíl od jiných prvků dopravníkového mostu s měnícím se rozpětím mění. Hodnocení jednotlivých variant vychází z tabulek uvedených níže.

<b>Pole 25 metrů S355J0 (IPE 160 - S235J0)</b>						
<b>Profil</b>	<b>celk. [m]</b>	<b>plocha [m<sup>2</sup>]</b>	<b>celk. [kg]</b>	<b>cena za kg [Kč]</b>	<b>celk. cena</b>	
<b>U 260</b>	50,99	42,83	1933,30	24,72	47791,18	Kč
<b>U 240</b>	71,99	56,15	2390,40	22,14	52923,46	Kč
<b>U 120</b>	48,19	20,72	643,10	19,75	12701,23	Kč
<b>U 100</b>	40,88	15,12	433,20	19,11	8278,45	Kč
<b>IPE 160</b>	24,00	14,95	378,70	18,48	6998,38	Kč
<b>U 140</b>	59,28	29,05	949,30	20,72	19669,50	Kč
<b>U 80</b>	32,43	10,05	279,80	19,39	5425,32	Kč
<b>120x30</b>	10,00	3,00	282,60	27,32	7720,63	Kč
<b>suma</b>	337,75	191,87	7290,40		<b>161508,14</b>	<b>Kč</b>
<b>Cena za metr rozpětí:</b>					<b>6460,325</b>	<b>Kč</b>
<b>Hmotnost na metr délky:</b>					<b>291,616</b>	<b>kg</b>

Tab. 1.: Navržené profily pole dopravníkového mostu o délce 25 metrů z oceli S355J0 včetně jejich atributů

<b>Pole 20 metrů S355J0 (IPE 160 - S235J0)</b>						
<b>Profil</b>	<b>celk. [m]</b>	<b>plocha [m<sup>2</sup>]</b>	<b>celk. [kg]</b>	<b>cena za kg [Kč]</b>	<b>celk. cena</b>	
<b>U 180</b>	99,40	59,90	2184,90	20,01	43719,85	Kč
<b>U 120</b>	85,22	36,64	1137,30	19,75	22461,68	Kč
<b>IPE 160</b>	19,20	11,95	302,90	18,48	5597,59	Kč
<b>U 80</b>	54,54	16,91	471,00	19,39	9132,69	Kč
<b>120x30</b>	15,00	4,50	424,00	27,32	11583,68	Kč
<b>suma</b>	273,36	129,90	4520,10		<b>92495,49</b>	<b>Kč</b>
<b>Cena za metr rozpětí:</b>					<b>4624,774</b>	<b>Kč</b>
<b>Hmotnost na metr délky:</b>					<b>226,005</b>	<b>kg</b>

Tab. 2.: Navržené profily pole dopravníkového mostu o délce 20 metrů z oceli S355J0 včetně jejich atributů

<b>Pole 20 metrů S235J0</b>						
<b>Profil</b>	<b>celk. [m]</b>	<b>plocha [m<sup>2</sup>]</b>	<b>celk. [kg]</b>	<b>cena za kg [Kč]</b>	<b>celk. cena</b>	
<b>U 240</b>	58,17	45,37	2184,90	20,55	44899,70	Kč
<b>U 220</b>	41,23	29,60	801,90	20,03	16062,06	Kč
<b>U140</b>	14,32	7,02	229,40	18,14	4161,32	Kč
<b>U 120</b>	70,90	30,49	946,20	17,78	16823,44	Kč
<b>U 100</b>	18,43	6,82	195,30	18,06	3527,12	Kč
<b>IPE 160</b>	19,20	11,95	302,90	18,48	5597,59	Kč
<b>U 80</b>	36,12	11,19	311,80	18,03	5621,75	Kč
<b>120x30</b>	15,00	4,50	424,00	21,10	8946,40	Kč
<b>suma</b>	273,38	146,94	5396,40		<b>105639,37</b>	<b>Kč</b>
<b>Cena za metr rozpětí:</b>					<b>5281,968</b>	<b>Kč</b>
<b>Hmotnost na metr délky:</b>					<b>269,82</b>	<b>kg</b>

Tab. 3.: Navržené profily pole dopravníkového mostu o délce 20 metrů z oceli S235J0 včetně jejich atributů

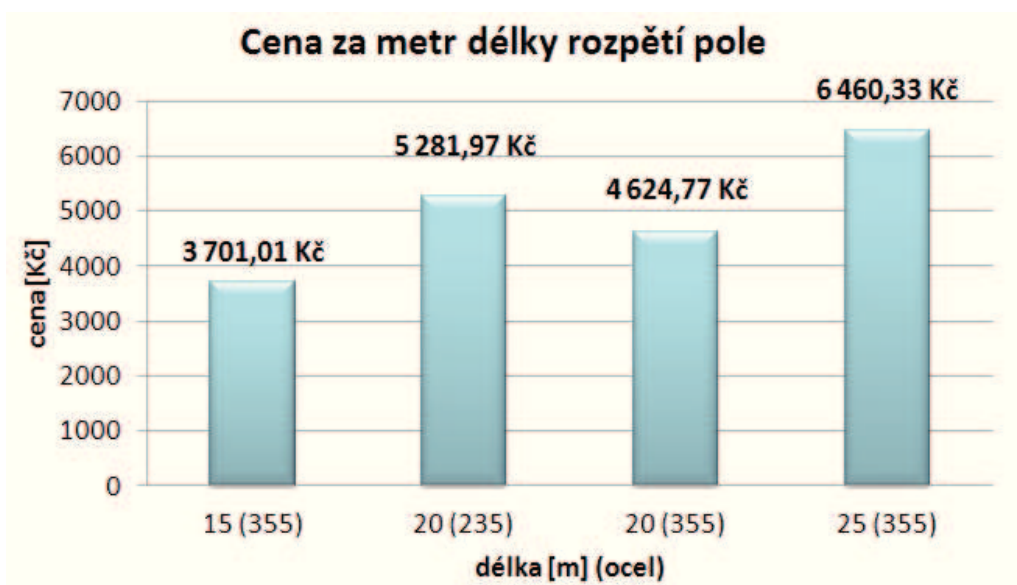
<b>Pole 15 metrů S355J0 (IPE 160 - S235J0)</b>						
<b>Profil</b>	<b>celk. [m]</b>	<b>plocha [m<sup>2</sup>]</b>	<b>celk. [kg]</b>	<b>cena za kg [Kč]</b>	<b>celk. cena</b>	
U 140	78,70	38,56	1260,30	20,72	26113,42	Kč
U 120	16,95	6,85	212,90	20,72	4411,29	Kč
U 100	30,00	11,10	317,90	19,11	6075,07	Kč
IPE 160	14,40	8,96	227,20	18,48	4198,66	Kč
U 80	64,84	20,10	559,90	19,39	10856,46	Kč
120x30	5,00	1,50	141,30	27,32	3860,32	Kč
<b>suma</b>	209,90	87,07	2719,50		<b>55515,21</b>	<b>Kč</b>
<b>Cena za metr rozpětí:</b>					<b>3701,014</b>	<b>Kč</b>
<b>Hmotnost na metr délky:</b>					<b>181,3</b>	<b>kg</b>

Tab. 4.: Navržené profily pole dopravníkového mostu o délce 15 metrů z oceli S355J0 včetně jejich atributů

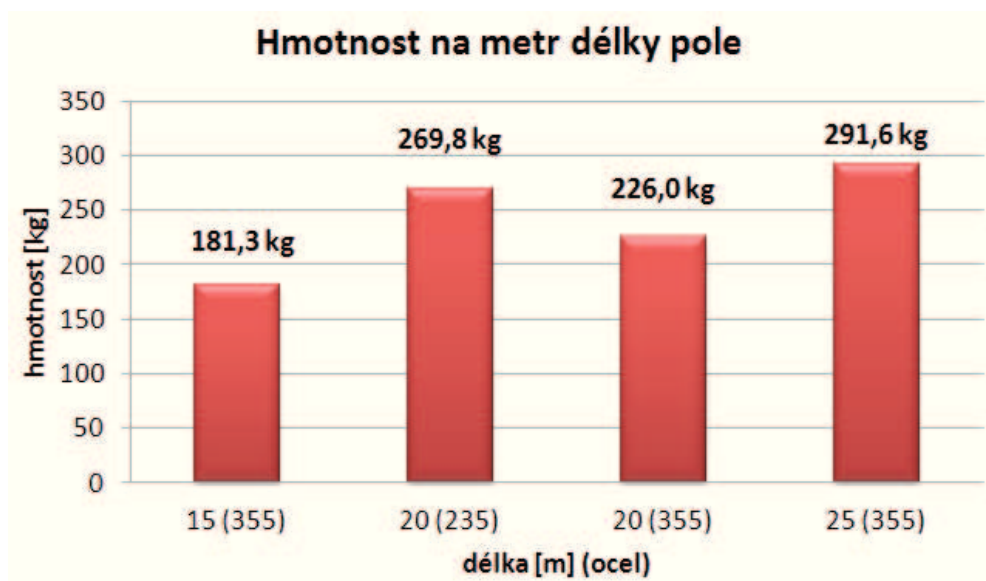
V tabulkách 1 až 4 jsou uvedeny hlavní použité profily pro ocelovou nosnou konstrukci polí dopravníkových mostů. U každého z profilů jsou uvedeny plochy kvůli povrchové úpravě, celková hmotnost, celkové délky a cena za kilogram profilu. Z vypočtených hodnot je patrná celková cena za použité profily, celková cena za ocelovou nosnou konstrukci, cena za metr délky pole a hmotnost na metr délky rozpětí pole dopravníkového mostu.

Při porovnání varianty pole dopravníkového mostu o délce 20 m z oceli S355J0

a S235J0 je patrné, že ekonomičtější je použít ocel s vyšší pevností, i když je její cena vyšší a pravděpodobně tomu tak bude i u všech zbylých variant. Z grafu na obrázku č. 67 lze pozorovat exponenciální nárůst ceny za metr délky v závislosti na délce pole mostu. Z obrázku č. 67 a 68 vyplývá, že pro výstavbu dopravníkových tras je vhodné, s přihlédnutím na ekonomiku, používat pole o délkách 20 a 15 metrů z oceli S355J0. Dále je z grafu patrné, že při navrhování polí delších rozpětí než 25 metrů bude exponenciálně růst i cena za metr délky rozpětí. Zároveň pole o kratších rozpětích než 15 metrů nebudou příliš výhodnější. U kratších polí než je 15 metrů bude rozhodovat konstrukční hledisko - řešení detailů napojení konzol obslužné lávky a podobně.



Obr. 67.: Graf cenového srovnání jednotlivých variant polí



Obr. 68.: Graf váhového srovnání jednotlivých variant polí

## 7 Závěr

Cílem této diplomové práce je navržení a porovnání variant polí a podpěr dopravníkových mostů. Všechny varianty jsou navrženy tak, aby je bylo možné vzájemně kombinovat. Při navrhování byl kladen důraz na odolnost konstrukce proti dynamickému namáhání. Konkrétně byl volen systém ztužidel podpěr ve tvaru A tak, aby bylo využito plastických rezerv. Dále pak u všech navrhovaných šroubových spojů nastává plastické, nikoli křehké porušení spoje a všechny navržené šrouby jsou předepnuté. Projektanti firmy SE-MI Technology a.s. budou využívat navržené varianty k projektování rozsáhlých dopravníkových tras v oblastech Turecka určených k přepravě sypkých materiálů. Navržené varianty můžou sloužit také k realizaci dopravníkových mostů i v jiných oblastech. Podmínkou pro jejich využití v jiných oblastech je stejně velké nebo menší zatížení působící na konstrukci. Z kapitoly 6 vyplývají doporučení, kterými by se mohli projektanti řídit. Konkrétně autor práce doporučuje používání polí dopravníkového mostu o délkách 15 a 20 metrů z oceli S355J0. Používání delších, nebo naopak kratších polí je méně efektivní z hlediska konstrukčního a ekonomického. Pokud by bylo možné volit jinou konstrukční výšku příhradové konstrukce pole, tak by mohlo být efektivnější navrhovat pole o větších rozpětích.

Při vypracovávání diplomové práce bylo čerpáno z předešlých zkušeností z projektování dopravníkových mostů a ze znalostí získaných v průběhu studia. Velkou motivací při navrhování těchto konstrukcí je fakt, že budou s velkou pravděpodobností realizovány. Autor práce si je tak bude moci ve skutečnosti prohlédnout, dotknout se jich. Velkým přínosem je i spolupráce s projektanty. Konkrétně v hledání kompromisů mezi statickým a strojírenským přístupem, například při řešení systému ztužení, umístění technologií a podobně.

## 8 Poděkování

Děkuji Ing. Vítu Křivému, Ph.D. vedoucímu diplomové práce za možnost pracovat na zajímavém tématu, které je spjato s praxí, dále pak za odbornou pomoc, osobní přístup a cenné rady při tvorbě této diplomové práce.

Děkuji panu Ing. Radimu Krömerovi za poskytnuté podklady, odborné rady a věnovaný čas při konzultacích.

## 9 Seznam použitých pramenů

### 9.1 Použité normy

- [1] ČSN EN 1990 (Eurokód 1):  
*Zásady navrhování konstrukcí*, Praha, ČNI, 2004
- [2] ČSN EN 1991-1-1 (Eurokód 1):  
*Zatížení konstrukcí – Obecná zatížení*, Praha, ČNI, 2004
- [3] ČSN EN 1991-1-3 (Eurokód 1):  
*Zatížení konstrukcí – Zatížení sněhem*, Praha, ČNI, 2005
- [4] ČSN EN 1991-1-4 (Eurokód 1):  
*Zatížení konstrukcí – Zatížení větrem*, Praha, ČNI, 2007
- [5] ČSN EN 1991-1-5 (Eurokód 1):  
*Zatížení konstrukcí – Zatížení teplotou*, Praha, ČNI, 2005
- [6] ČSN EN 1992-1-1 (Eurokód 2):  
*Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*, Praha, ČNI, 2006
- [7] ČSN EN 1993-1-1 (Eurokód 3):  
*Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*, Praha, ČNI, 2006
- [8] ČSN EN 1993-1-8 (Eurokód 3):  
*Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků*, Praha, ČNI, 2006
- [9] ČSN EN 1993-1-10 (Eurokód 3):  
*Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-10: Houževnatost materiálu a vlastnosti napříč tloušťkou*, Praha, ČNI, 2006
- [10] ČSN EN 1998-1 (Eurokód 8):  
*Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení – Část 1: Obecná pravidla, seizmická zatížení a pravidla pro pozemní stavby*, Praha, ČNI, 2006
- [11] EN ISO 9223:  
*Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification, determination and estimation*, 2012



- [12] EN 12500:  
*Ochrana kovových materiálů proti korozi – pravděpodobnost koroze v atmosférickém prostředí – Klasifikace, stanovení a odhad korozní agresivity atmosférického prostředí*, Praha, ČNI, 2000
- [13] ČSN EN 1090-2 +A1:  
*Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce*, Praha, ČNI, 2012
- [14] ČSN EN ISO 12944 - X (skupina norem):  
*Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy*, Praha, ČNI, 1998
- [15] ČSN 73 0210-1:  
*Geometrická přesnost ve výstavbě. Podmínky provádění. Část 1: Přesnost osazení*, Praha, ČNI, 1992
- [16] ČSN 74 3305:  
*Ochranná zábradlí*, Praha, ČNI, 2008
- [17] Türk Standartları Enstitüsü:  
*“Design loads for buildings”*, TS 498, Ankara, 1997

## 9.2 Odborná literatura

- [18] Macháček, J. et al.:  
*Navrhování ocelových konstrukcí Příručka k ČSN EN 1993-1-1 a ČSN EN 193-1-8. Navrhování hliníkových konstrukcí - Příručka k ČSN EN 1991-1. ČKAIT, 2009. ISBN 978-80-87093-86-3*
- [19] Marek, P. et al.:  
*Kovové konstrukce pozemních staveb*, SNTL, 1985
- [20] Ocelové a dřevěné konstrukce:  
*Navrhování podle evropských norem, publikace vydaná ke stejnojmennému školení*, ČVUT, Praha, 2006. ISBN 80-01-03545-X

- [21] G. Solomos, A. Pinto, S. Dimova:

*A review of the seismic hazard zonation in national building codes in the context of Eurocode 8*, JRC, 2008, Italy

### 9.3 Internetové zdroje

- [22] Odkaz na internetové stránky Ing. Víta Křivého, Ph.D.:

<http://fast10.vsb.cz/krivy>

- [23] Odkaz na internetové stránky Ing. Miroslava Rosmanita, Ph.D.:

<http://homel.vsb.cz/~ros11/>

- [24] Odkaz na internetové stránky firmy Ferrum Plzeň s.r.o.:

<http://proxy.ferrum.cz/iSystem.NET/Produkty/ProduktyKategorie.aspx>

## 10 Seznam příloh

### 10.1 Statické posudky navržených variant

1. Statický posudek pole dopravníkového mostu o délce 20 metrů z oceli S235J0
2. Statický posudek pole dopravníkového mostu o délce 20 metrů z oceli S355J0
3. Statický posudek pole dopravníkového mostu o délce 25 metrů z oceli S355J0
4. Statický posudek podpěry dopravníkového mostu o výšce 15 metrů z oceli S235J0
5. Statický posudek podpěry dopravníkového mostu o výšce 20 metrů z oceli S235J0

### 10.2 Výkresová dokumentace

1. Pole mostu o délkách 15 a 25 metrů
2. Pole mostu o délkách 20 metrů
3. Detaily A, B, C (šroubové spoje) pole mostu o délce 15 metrů z oceli S355J0
4. Detaily D, E, F (šroubové spoje) pole mostu o délce 20 metrů z oceli S235J0
5. Detaily G, H, I (šroubové spoje) pole mostu o délce 25 metrů z oceli S355J0
6. Detaily J, K, L (šroubové spoje) pole mostu o délce 20 metrů z oceli S355J0
7. Podpěry mostu o výškách 15 a 20 metrů
8. Podpěra mostu o výšce 10 metrů
9. Detail A (kotvení) podpěry mostu o výšce 20 metrů
10. Detaily B, C (šroubové spoje) podpěry mostu o výšce 20 metrů
11. Detail D (kotvení) podpěry mostu o výšce 15 metrů
12. Detaily E, F (šroubové spoje) podpěry mostu o výšce 15 metrů
13. Detaily G, H (kotvení, šroubový spoj) podpěry mostu o výšce 10 metrů

### Použitý programový software

Scia Engineer 2013	Výpočetní software pro statické výpočty
NEXIS 32	Výpočetní software pro statické výpočty
LT-Beam	Program pro určení kritického momentu klopení
Autocad 2012	Grafický program prokreslení projektové dokumentace
MS Excel 2011	Tabulkový procesor
MS Word 2011	Textový editor